



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO Y DISEÑO
GEOMÉTRICO VIAL DE 1.1 KM DEL TRAMO YAULE-YAULE ABAJO,
UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MATAGALPA, POR EL MÉTODO DE
AASHTO 93”**

Para optar al Título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Iván Eduardo Hernández Sancho

Br. Yader Francisco Sandoval Tercero

Tutor

Ing. Jimmy Sierra Mercado.

Managua, Noviembre 2019

Managua, 11 de noviembre 2019

Doctor

ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA

Decano

Facultad de Tecnología de la Construcción – UNI

Su Oficina.

Estimado Dr. Gutiérrez:

Por este medio tengo a bien informarle que la monografía que lleva por nombre: **“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO Y DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL DE 1.1 KM DEL TRAMO YAULE - YAULE ABAJO, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MATAGALPA, POR EL MÉTODO DE AASHTO 93”**, está lista para entrar en el proceso de defensa, la cual fue realizada por los Bachilleres: **Iván Eduardo Hernández Sancho y Yader Francisco Sandoval Tercero**, Bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha tesis, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente,

Ing. Jimmy Sierra Mercado

CC: Archivo

Carta de aprobacion

Dedicatoria

Dedico mi trabajo final para optar al título de ingeniero civil, primeramente, a Dios quien supo guiarme por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mi familia, que por ellos soy lo que soy. A mi madre Ivania del Socorro Sancho Centeno por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayudarme y consolarme en los momentos difíciles, por brindarme todos los recursos necesarios para mi educación desde pequeño. Te dedico especialmente a ti madre querida porque me has dado todo lo que soy como persona, mis valores, mi carácter, mi coraje para alcanzar mis metas.

A mis amistades, por haber confiado en mí, aun cuando estuve en malos momentos, Alex Peralta, te agradezco mi hermano por esa fe y amistad pura que me ofreciste cada día de nuestro camino de la carrera, y en la actualidad.

A mi novia, por estar siempre a mi lado, apoyándome, confiando en mí, dándome ánimos para no ser un profesional mediocre y siempre crecer como profesional y como persona.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar.”

Br. Ivan Eduardo Hernandez Sancho.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo a Dios, creador del universo, por regalarme la vida, paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para seguir luchando día a día y vencer todos los obstáculos que se me han presentado, para alcanzar mis sueños.

A mis queridos padres Javier Nicolás Sandoval Herrera y Carmenza Tercero Monjarrez, por el amor e incondicional apoyo, que cada día se esforzaron para darme una educación y formarme como un profesional y me inspiraron para seguir adelante sin temor a los retos, a mi familia que de una u otra manera me dieron su apoyo.

A mis maestros que día a día me daban el pan del saber.

A mis amigos por darme su apoyo moral en momentos difíciles de mi vida para no desfallecer y culminar con éxito mis estudios.

Br. Yader Francisco Sandoval Tercero.

Agradecimiento

A Dios. Sobre todas las cosas por estar en cada momento de nuestras vidas, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes y por haber puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A nuestras familias. De manera especial a nuestras familias, pilar esencial en nuestro desarrollo moral y educativo.

A nuestros padres. Quienes con su consejo han sabido guiarnos para culminar nuestra carrera profesional y sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzos constantes, siendo nuestro mayor deseo que sepan que el logro de nosotros, es el logro de ellos, gracias por el apoyo recibido durante la formación profesional porque han sacrificado gran parte de su vida para formarnos y educarnos, siendo la ilusión de su vida convertirnos en personas de bien.

A nuestro tutor. Ms. Ing. Jimmy Sierra por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, paciencia y su motivación ha logrado que nosotros terminemos nuestro trabajo final.

A nuestros Maestros. Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo que nos han llevado a ser buenas profesionales.

A todos los que nos brindaron sus importantes aportes en este proyecto.
Agradecemos también a todas aquellas personas que, a lo largo de todos estos años, nos acogieron como parte de su familia, nos brindaron su ayuda incondicional y nos apoyaron en los momentos más difíciles.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento monográfico se presenta el diseño geométrico vial y estructura de pavimento Articulado (Adoquinado) de 1.1 km de longitud, el cual se encuentra ubicado en la comunidad Yaúle, Municipio de Matagalpa, conteniendo los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

Este capítulo se aborda las generalidades del proyecto, ubicación del tramo en estudio, introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de 1.1 Km de adoquinado y los objetivos propuestos para lograr con éxito su diseño mediante el método AASHTO 93.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

El estudio topográfico para la elaboración de este trabajo monográfico de 1.1 km fue proporcionado por la oficina de proyectos de la alcaldía municipal de Matagalpa.

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO.

Se basó en realizar un aforo vehicular durante 7 días consecutivos, sobre la vía durante 12 horas diurnas, del cual se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de **653** vph. A demás, se estimó una tasa de crecimiento del **4.92%**, tomando en cuenta los datos históricos del TPDA de la estación de conteo vehicular más cercana a la vía (Estación 300), se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población. Al proyectar el tráfico actual, considerando un periodo de diseño de 15 años, se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o **$W_{18}=898,673.00 = 8.99E+05$**

CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Se analizaron 7 sondeos manuales sobre el camino a diseñar, así como el banco de materiales con el objetivo de identificar las propiedades y clasificación de los diferentes estratos existentes hasta una profundidad máxima de 1.50 metros, los resultados de los materiales que predominan son suelos granulares del tipo A-2-4(0), A-2-6(0).

La información necesaria del banco de material disponible cerca de la zona fue facilitada por la Alcaldía Municipal de Matagalpa.

CAPÍTULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO.

Se diseñó una alternativa de pavimento articulado aplicando la metodología AASHTO 93 y se finalizó haciendo uso del software WinPAS (Pavement Analysis Software versión (1.0.4).

El paquete estructural para el tramo dio como resultado: una capa de rodamiento de **4.00 pulgadas** (espesor estándar del adoquín de concreto) y una base granular de **12.00 pulgadas**. Obteniendo un total de 30 centímetros para la estructura del pavimento. Este paquete cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la AASHTO 93.

CAPÍTULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL.

Comprende el diseño óptimo de la línea definitiva, la cual estuvo sujeta a las alineaciones vertical, horizontal y al derecho de vía, además del criterio del ingeniero diseñador y de las especificaciones establecidas para la misma.

NORMAS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES

El diseño se rigió a las normas de la AASHTO y las Normas Centroamericanas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004, así como los criterios particulares de los autores y de la dirección de obras públicas de la alcaldía de Matagalpa.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ANTECEDENTES.	2
1.3 JUSTIFICACION.	3
1.4 OBJETIVOS.	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.	4

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 Metodología.	5
2.2. Equipo topográfico.....	5
2.3. Procedimiento y Desarrollo del estudio topográfico.....	5
2.3.1. Perfil Longitudinal.	6
2.3.2. Altimetría.	7
2.3.3. Elaboración de Planos.....	7

CAPÍTULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Generalidades.....	8
3.2. Recopilación de datos.....	8
3.2.1. Tipología vehicular.	9
3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.	10
3.3. Procesamiento de información.	10
3.4. Análisis de la información obtenida.	10
3.5 Recopilación de la información.....	10
3.6 Procesamiento de datos.	11

3. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.	12
3. 7 Clasificación de la vía según TPDA	15
3. 8 Composición Vehicular.....	16
3. 8. 1 Determinación de tasas.....	17
3. 8. 2 Tasas de crecimiento.	18
3. 8. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB).	20
3. 8. 4 Análisis de Población (POB).....	21
3. 8. 5 Proyección de tráfico	22
3. 8. 6 Cálculo de Proyección de tráfico.	25
3. 9 Análisis de la información obtenida	27
3. 9.1 Tráfico de diseño	28
3. 9. 2 Factor de Crecimiento	29
3. 9. 3 Período de Diseño (PD)	29
3. 9. 4 Factor Distribución Por Dirección (FD).	30
3. 9. 5 Factor Distribución Por Carril (FC).	30
3. 9. 6 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).....	31
3. 9. 7 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).	31
3. 9. 8 Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI).....	31
3. 9. 9 Número Estructural Asumido (SN).	31
3. 9. 10 Factor de Equivalencia (FESAL).	32
3. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).....	32

CAPÍTULO IV: ESTUDIO GEOTÉCNICO

4.1 Metodología.	36
4.2. Ensayos de Suelos en Línea.	37
4.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.	37

4.3. Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.	38
4.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base.	40
4.6. Determinación del CBR de Diseño.....	40
4.6.1. Identificación de la Sub-rasante.	41
5.1. Generalidades.....	45

CAPÍTULO V: DISEÑO DE PAVIMENTO

5.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93.....	45
5.2.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.....	45
5.2.2. Confiabilidad.....	46
5.2.3. Desviación Estándar.....	47
5.2.4. Serviciabilidad.	48
5.2.5. Coeficiente de drenaje.....	48
5.2.6. Cálculo del CBR de diseño.....	49
5.2.7. Módulo de Resiliencia (MR).....	49
5.2.9. Número Estructural.....	53
5.3. Cálculo de Espesores.	54
5.3.1. Cálculo del espesor de la base (D_2).	58
5.3.2. Espesores finales de Diseño.	59
5.4. Uso del programa WinPAS.	60

CAPÍTULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO VÍAL

6.1. Diseño Geométrico vial.....	63
6.1.1. Metodología.....	63
Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial	63
6.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico.	64
6.3. Distancias de visibilidad en carreteras.....	70

6.3.1. Distancia de visibilidad.	70
6.3.2. Distancia de visibilidad de parada.	71
6.3.3. Distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.	71
6.3.4. Criterios para medir la distancia visual.	73
6.4. Justificación de los Parámetros de diseño	74
6.4.1. Velocidad de diseño	74
6.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.....	77
6.5.1. Diseño de curvas horizontales.....	77
6.6. Diseño del alineamiento vertical.	79
6.6.1. Generalidades.	80
6.6.2. Rasante y pendientes.....	81
6.6.3. Tipos de curvas verticales.	82
6.6.4. Longitud de curva cuando esta es mayor que la distancia de visibilidad	83
6.6.5. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.....	84
6.6.6. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.	86
6.7. Elementos de la curva vertical.	88
6.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.	91
6.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.	93
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.	100
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS	103

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION.

En Nicaragua algunas carreteras del área rural han sido construidas sin hacer antes un diseño previo y a raíz de lo antes mencionado provoca que se manifieste el deterioro en un corto periodo de tiempo, esto genera costos en cuanto a mantenimiento tanto preventivo como correctivo. No obstante, es de nuestro conocimiento que el transporte vial de cualquier urbe tiene una gran importancia para su economía y para sus habitantes que les facilita movilizarse de un punto a otro para realizar sus actividades cotidianas, las cuales generan aumento en el desarrollo socioeconómico para su comunidad y el país.

El tramo de estudio tiene una longitud de 1,100 metros y se encuentra ubicado en la comunidad Yaule – Yaule Abajo en el municipio de Matagalpa sobre el kilómetro 120 carretera Sébaco a Matagalpa (**Ver Anexos Imagen 14 y 15, páginas I y II**). Según Corea y Asociados S.A (CORASCO), en el estudio Red de Diagnostico Vial Para el municipio de Matagalpa, es una red vial clasificada como troncal secundaria.

El método AASHTO 93 es el que proporcionó los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento, cabe señalar que es uno de los más confiables y el cual considera las cargas provocadas por el tráfico a las que está expuesta la estructura de pavimento, de igual forma se tomaron en cuenta los criterios y especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000), las cuales aportan los elementos técnicos para realizar proyectos de construcción con mayor durabilidad, mejor seguridad y especialmente comodidad para los usuarios en las vías terrestres.

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2004) es el documento brindó las pautas necesarias para la elaboración del diseño geométrico del tramo en estudio.

1.2 ANTECEDENTES.

En el año 2007 el FISE (Fondo de Inversión Social de Emergencia) desarrolló el proyecto para la construcción de 720 metros lineales de cunetas dentro de la comunidad Yaule Abajo, de esta manera dispuso a mejorar el estado de drenaje menor en la comunidad, no obstante, ha sido una solución insatisfactoria, puesto que no es lo suficiente para la evacuación de aguas pluviales y tal insuficiencia en el drenaje causa el deterioro en la vía. **(Ver anexo Fotografía actual del tramo, págs. III - IV).**

La comunidad cuenta con 120 viviendas, y con una población aproximada de 540 habitantes. De acuerdo con el inventario vial efectuado en el 2016, la red vial para el municipio de Matagalpa registra 436.72 kilómetros, de los cuales 79.43 km son Asfaltados (18.19%); 7.02 km Adoquinados (1.6%); 0.86 km Revestidos (0.20%); 308.10 km Todo Tiempo (70.55%); 41.31 km Estación Seca (9.46%).

Con la carencia de un buen revestimiento de este tramo, los pobladores se ven doblemente afectados. Ya que en época de verano debido a la acción del viento y al tráfico vehicular se genera una gran cantidad de polvo, el que ocasiona graves problemas respiratorios, enfermedades diarreicas, dérmicas y oculares, entre otras.

En época de invierno a causa de las lluvias queda de manifiesto la falta de drenaje en la vía lo cual genera charcas provocando incremento de enfermedades de tipo epidemiológicas, y asimismo ocasionando el desgaste de la carpeta de rodamiento, dificultando el flujo libre del transporte, la calidad y comodidad de los pobladores debido a la poca salubridad de la vía.

1.3 JUSTIFICACION.

Sabemos que el mejoramiento en las vías de transporte es de vital importancia para el desarrollo de una ciudad y sus habitantes, es por ello que el proyecto de adoquinado permitirá reducir la problemática de no disponer de un camino adecuada en todo tiempo, de tal manera surge la iniciativa de realizar el diseño de la carpeta de rodamiento con estructura de adoquín para un proyecto de 1,100 metros lineales de adoquinado y diseño geométrico vial.

Según en una pequeña entrevista realizada por un medio local, los pobladores manifestaron su inconformidad y los diferentes problemas productos del mal estado en la vía, los cuales se hacen mención de los más importantes:

- ✓ Mal acceso del transporte privado y colectivo en las calles en temporada de invierno.
- ✓ Incidencia de enfermedades como la malaria, dengue y otras enfermedades ocasionadas producto de encharcamientos.
- ✓ Inundaciones en algunos sectores producto del mal drenaje transversal sobre el camino.
- ✓ Incidencias de enfermedades respiratorias en temporada de verano producto del polvo.

Es de gran satisfacción el elaborar este estudio monográfico, el cual permitió reducir las problemáticas antes mencionadas. Así mismo este trabajo sirvió como retroalimentación para los conocimientos teóricos y prácticos que se adquirieron a lo largo de la carrera y así optar al título de Ingeniero Civil.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General.

- Diseñar la estructura de pavimento articulado y geométrico vial de 1.1 km lineales, del tramo Yaule - Yaule Abajo, Ubicado en el Municipio de Matagalpa por el Método de la AASHTO 93.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ⦿ Procesar el levantamiento topográfico proporcionado por la alcaldía de Matagalpa, para conocer el relieve del terreno natural en todo el tramo en estudio.
- ⦿ Elaborar el estudio de tránsito para determinar el flujo vehicular, con el fin de calcular el TPDA y de esta manera poder estimar las cargas que soportará la estructura de pavimento.
- ⦿ Analizar las propiedades físico-mecánicas de los suelos de la vía y de los bancos de materiales, tomados en base a un estudio geotécnico existente de la vía en estudio.
- ⦿ Determinar los espesores de la estructura de pavimento que soportará las cargas de diseño aplicando el método de la AASHTO-93 empleando Software WinPAS 2012.
- ⦿ Proponer el diseño geométrico vial del tramo en estudio aplicando el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004)

CAPÍTULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 Metodología.

El estudio topográfico para la elaboración de este trabajo monográfico de 1.1 km fue proporcionado por la oficina de proyectos de la alcaldía municipal de Matagalpa. El procedimiento utilizado para tal actividad fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales considerando que es el más adecuado para proyectos de carreteras.

2.2. Equipo topográfico.

- ⦿ **Estación Total:** Aparato electrónico electro –óptico utilizado en topografía cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica incorpora el distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico Leica TS06 alfanumérico, de alta precisión y eficiencia.
- ⦿ **Prisma:** Modelo tk21 de acero utilizada para captar la señal de una estación total el cual regresa la información a la misma.
- ⦿ **Bastón:** de aluminio Nls31 telescópico de 2.5 metros.
- ⦿ **Cinta métrica:** De 50 metros, se utiliza en la medición de distancias tales como el levantamiento de secciones transversales, o hacer el cadenamiento durante el levantamiento con el teodolito, medir la distancia de un punto que se tomó como referencia cuando se hizo el levantamiento, etc.
- ⦿ **Chapas:** elemento utilizados para marcar puntos importantes como lo son PI y BMs,
- ⦿ **Spray:** Rociador de pintura en aerosol color rojo.

2.3. Procedimiento y Desarrollo del estudio topográfico.

Eje de la carretera: El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos.

Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 20 metros o menos hasta llegar al punto final de carretera (PF).

Para lograr esto se requirió definir la forma dimensional del terreno, lo cual se logró levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera (en una vía se refiere a la línea que separa los sentidos de circulación). Se debió brindar la localización topográfica o detalles de interés, tales como:

- Tendido eléctrico.
- Tendido telefónico.
- Drenaje de aguas servidas o pluviales.
- Red de agua potable.
- Pozos de visita y tragantes de agua pluvial existente.
- Localización de derecho de vía.
- Mojones, BMs.
- Puntos de referencia (arboles de gran tamaño, arroyos, cauces, etc.).
- Vías de acceso.
- Construcciones existentes.

2.3.1. Perfil Longitudinal.

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrara la longitud real del eje de la vía.

Aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas.

2.3.2. Altimetría.

Curvas de nivel

Se determinaron las elevaciones de todos los puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software Autocad-Civilcad 2015, generando así el mapa de curvas de nivel que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que servirá de apoyo para el diseño de las obras de drenajes.

Pendientes

El valor del bombeo que predomina en el tramo en estudio es de 3 % determinado a partir del levantamiento topográfico. El camino es relativamente plano ya que predominan pendientes menores a 5%.

2.3.3. Elaboración de Planos.

La información del levantamiento topográfico fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta - perfil los cuales muestran la línea central, límites de derecho de vía, referencias de línea central, BM's y sus referencias, el perfil longitudinal y el anteproyecto de la rasante.

En el juego de planos constructivos se incluyen, además, hojas que contienen detalles constructivos de drenaje, tales como cunetas tipo caite. Todo ello fue editado en el software AUTOCAD Y CIVILCAD 2015.

Las escalas usadas en el dibujo de los perfiles longitudinales. Los planos fueron dibujados a escala 1:100 y 1:1000 en sentido horizontal y vertical respectivamente.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE TRÁNSITO

3.1 Generalidades.

La determinación del tráfico es de vital importancia para poder adelantar otras actividades tales como realizar el diseño adecuado de la estructura del pavimento y la evaluación del proyecto, pues gran parte de los beneficios derivados del mismo son debidos a los ahorros en costos de operación vehicular.

El desarrollo de este estudio contempla los siguientes alcances:

- ⦿ Volúmenes de Tránsito y Tipología.
- ⦿ Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).
- ⦿ Proyecciones de Tránsito Futuro.
- ⦿ Determinación de los Ejes Equivalentes de Carga.

3.2. Recopilación de datos.

Se realizó por medio de conteos vehicular, que consiste en medir el volumen de tráfico que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas diurnas. La recolección de datos se realizó durante 7 días consecutivos, una semana, en las fechas del 15 de octubre hasta el 21 de octubre del año 2018, entre las 06:00 horas y las 18:00 horas, a fin de evaluar las condiciones de tráfico normales, basándonos para esto en la Tipología y Descripción Vehicular que brinda la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2017. Para realizar el aforo, se utilizó el Formato mostrado en el **(Ver Anexo, Tabla 45 pág. V).**

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, (TPDA) así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete, la estación de Conteo Vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del Conteo y Clasificación por Día (12.0 horas), del tramo en estudio se muestran en el siguiente anexo. **(Ver Anexo, Tabla 46 - 52, págs. V a VIII).**

3.2.1. Tipología vehicular.

Para el levantamiento de la información de campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, en nuestro país actualmente hay una gran variedad de vehículos, en total el MTI presenta una clasificación vehicular compuesta por 17 tipos de vehículos, por lo que es conveniente agruparlos en cuatro categorías. **(Ver Anexo, Tabla 53, pág. IX).**

3.2.1.1. Motocicletas.

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, en esta categoría incluyen scooter, motonetas, motonetas y otros triciclos a motor.

3.2.1.2. Vehículos Livianos.

Son los vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, los Automóviles, Camionetas, Pick – Ups y Jeep.

3.2.1.3. Vehículos Pesados de Pasajeros.

Son los vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros) y Microbuses Medianos (hasta 25 pasajeros) y los Buses medianos y grandes.

3.2.1.4. Vehículos Pesados de Carga.

Son vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres Toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (C2R2), los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos especiales, presenta la Tipología y Descripción Vehicular.

3.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles. **(Ver Anexo, Tablas 54 y 55, pág. X).**

3.3. Procesamiento de información.

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual procesamos toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2017.

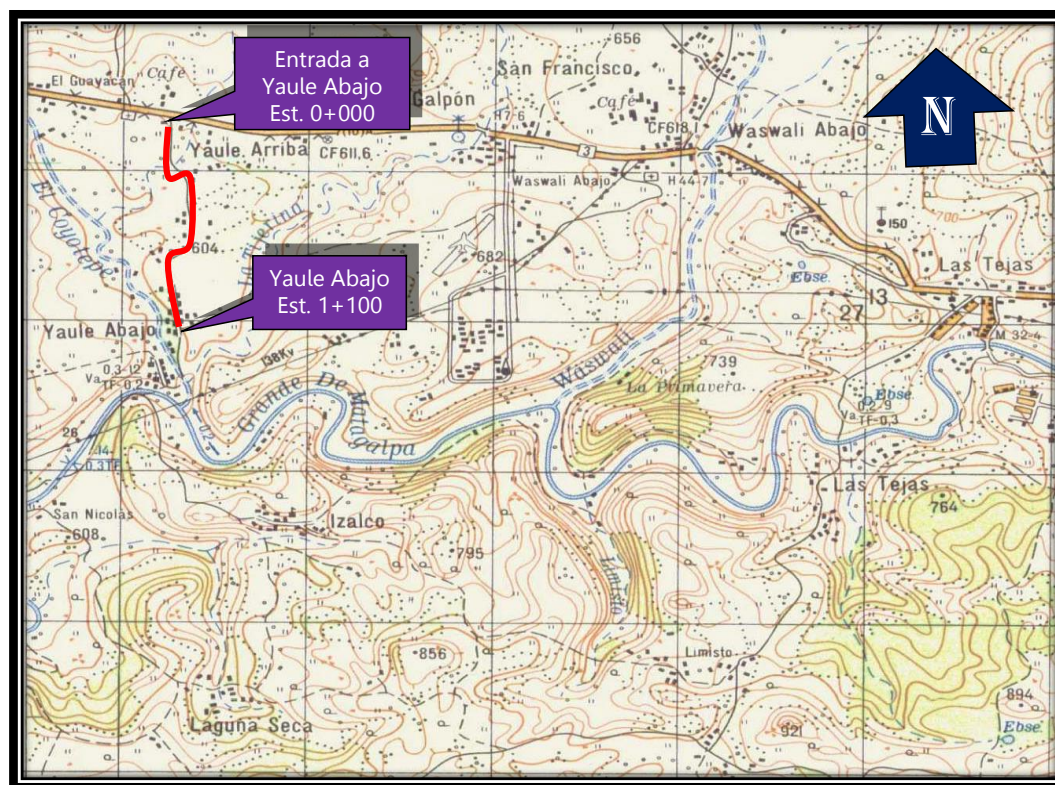
3.4. Análisis de la información obtenida.

En este proceso se usó los criterios basándonos en la (Guía AASHTO- 93) para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos

3.5 Recopilación de la información.

Se realizó la ubicación de la estación de control, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tráfico vehicular, con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía La estación de Conteo se ubicó en la Estación 0+000, que permitieron captar el 100% del tráfico en el tramo en estudio. **(Ver Imagen 1, pág. 11)**

Imagen 1. Ubicación del punto de conteo vehicular.



Fuente: Alcaldía de Matagalpa.

3.6 Procesamiento de datos.

La tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo este procesado en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo. De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de estudio por día y tipo de vehículo.

En la Tabla 1, pág. 12. se muestran los Conteos de Tránsito Diarios, Composición Vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

3. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularan en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular. Al finalizar el conteo de tránsito de 7 días consecutivo durante 12 horas en la Est.: 0+000 (Inicio del tramo) y posterior realizar el consolidado en Microsoft Excel pudimos tener una perspectiva bastante clara de cómo se comporta el tránsito, obteniendo un **TP(D) de 487 vehículos**.

Para obtener el Tráfico Promedio Diurno (TPD) fue necesario aplicar la **ecuación1**:

$$TP(D) = \frac{\text{Total Diurno Semanal}}{7 \text{ días}} \quad \text{Ec.1.}$$

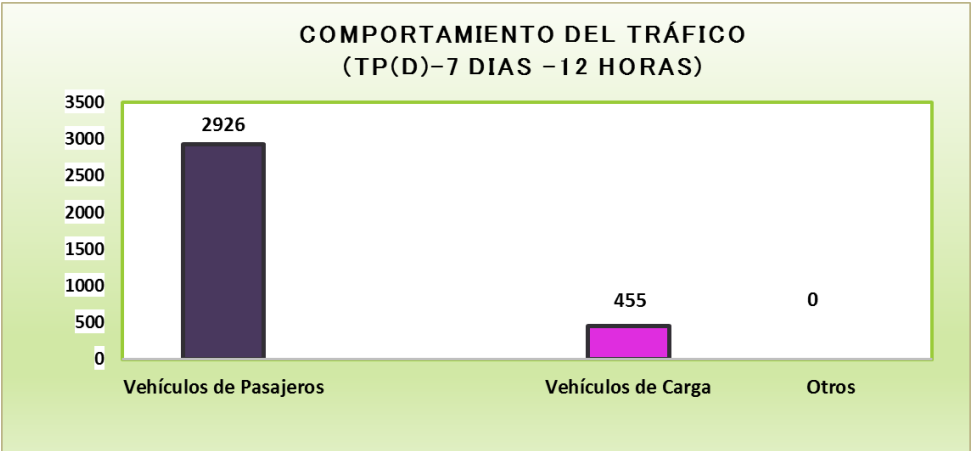
Tabla 1. Tráfico Promedio Diurno TP(D)

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR Y CÁLCULO DEL TP(D). (Transito Promedio Diurno)											
Estación: YAULE ABAJO HACIA YAULE (0+000)											
Días	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	
Lunes	164	98	25	88	7	6	23	32	20	1	0 464
Martes	164	116	40	66	12	8	24	28	12	10	0 480
Miércoles	189	75	23	93	9	8	28	31	21	10	0 487
Jueves	170	121	12	67	6	7	29	33	24	8	0 477
Viernes	168	66	25	80	8	8	27	45	36	15	0 478
Sábado	194	148	9	80	3	9	24	35	23	13	0 538
Domingo	198	87	12	56	7	8	31	42	10	6	0 457
Total	1247	711	146	530	52	54	186	246	146	63	0 3381
TP(D)(Vehículos/12 hrs)	179	102	21	76	8	8	27	36	21	9	0 487

Fuente: Elaboración propia

En el **Gráfico-1** podemos observar claramente, el comportamiento del tránsito promedio diario en el cual predominan los vehículos de pasajeros.

Gráfico-1. Composición del Tránsito Promedio Diario



Fuente: Elaboración propia

En el **Gráfico-2** se muestra el comportamiento del tránsito vehicular donde se aprecia que los días de mayor demanda son los días miércoles y sábado manteniendo los demás días un flujo vehicular constante, luego tenemos días de menor demanda, que son lunes y domingo.

Gráfico-2. Comportamiento de Tránsito Promedio Diario.



Fuente: Elaboración propia

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2017, para la estación de corta duración ECD-301. Empalme Guayacán – Matagalpa, depende de la estación permanente de conteo 300 NIC-3 Sébaco - Quebrada Honda.

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores correspondientes a esta estación en la determinación del Transito Promedio Diario Anual del tramo en estudio. Se dispuso a realizar una correlación entre ambas estaciones para así determinar cuál estación se utilizará. **(Ver gráfico 4-7 pág. 23-25)**

La expansión de Tránsito Promedio diario de 12.0 horas TP(D), se realizó en base a los factores de la Estación N°.300 (Sébaco – Quebrada Honda), se multiplicó el TP(D) por el factor día, luego se multiplico por el factor expansión, para pasar de un tránsito promedio diario de 24.0 horas a Tránsito Promedio Anual (TPDA). **(Ver Tabla 2 a continuación).**

Tabla 2. Factores de Ajuste Estación ECD 301 (septiembre-diciembre)

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>=5	Cx- Rx<=4	Cx- Rx>=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.22	1.28	1.30	1.29	1.25	1.33	1.22	1.32	1.48	1.40	1.00	1.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
Factor Semana	0.96	1.03	1.00	0.93	0.94	1.14	0.97	0.89	0.90	0.90	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02
Factor Fin de Semana	1.10	0.93	1.01	1.23	1.20	0.76	1.07	1.44	1.38	1.37	1.00	1.32	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95
Factor Expansión a TPDA	1.04	1.05	1.04	1.05	1.11	1.27	1.05	0.96	1.03	1.17	1.00	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI (Año 2017).

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 2:**

$$\text{TPDA} = \text{TP(D)}_{12\text{H}} * \text{Fd} * \text{Fe} \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:

TP(D)₁₂: Tráfico promedio diario 12 horas.

Fd: Factor día.

Fe: Factor Expansión a TPDA

Tabla 3. Tránsito Promedio Diario Anual

Factor / Tipo de Vehículo	Motos	Vehículo de Pasajeros						Vehículos de Carga						Total	
		Autos	Jeep	Cta	Micbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	Tx-Sx ≤4	Tx-Sx≥5	Cx-Rx ≤4		Cx-Rx≥5
TP(D) 12h	179	102	21	76	8	8	27	36	21	9					487
FACTOR DIA	1.22	1.28	1.3	1.29	1.25	1.33	1.22	1.32	1.48	1.4	1	1.53	1	1	
FACTOR EXPANSIÓN	1.04	1.05	1.04	1.05	1.11	1.27	1.05	0.96	1.03	1.17	1	1.15	1	1	
TPDA(Sep-Dic)	228	138	29	103	12	14	35	46	33	15	0	0	0	0	653
% TPDA	34.9%	21.1%	4.4%	15.8%	1.8%	2.1%	5.4%	7.0%	5.1%	2.3%					100.0%
% TPDA Veh.Livianos	85.6%							% TPDA Veh. Carga			14.4%				

Fuente: Elaboración propia

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) **653** vehículos por día

3. 7 Clasificación de la vía según TPDA

Troncal Principal: Sirven como corredor para viajes a larga distancia como tráfico inter-departamental o Inter-regional. Tienen un volumen de tráfico de más de 1000 vehículos por día, y la velocidad de operación es de 100 Kph.

Troncal Secundaria: Une centros urbanos con poblaciones entre los 10,000 y 50,000 habitantes. El volumen de tráfico es de 500 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

Colectora Principal: Une centros urbanos con 4,000 a 10,000 habitantes. Su volumen de tráfico es de 250 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

Colectora Secundaria: Une principalmente zonas con poblaciones inferiores a los 400 habitantes con un tipo de camino superior. Su volumen de tráfico es de 50 a 80 vehículos por día y su velocidad de operación es de 30 a 60 kph.

Caminos Vecinales: Conectan fincas y poblados con las carreteras de las categorías anteriores.

Esta clasificación es de tipo administrativo y no tiene relación con las normas y estándares de diseño de ingeniería, los cuales están relacionados al volumen de tránsito, uso del suelo y a la topografía del terreno.

Tiene acceso a zonas poblacionales inferiores a los 300 habitantes. Su volumen de tráfico es menor de 50 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 kph.

Colectoras Rurales: generalmente sirve al tránsito con recorridos de menores distancia relativas, que se mueve entre ciudades, pueblos y villas, sirve asimismo como alimentador de las arterias troncales y de colectoras suburbanas. La velocidad en estas vías es moderada, comparada con las arterias de tránsito mayor. Sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 500 vehículos/día.

Basados en los conceptos de clasificación y funcionalidad vial antes mencionados, nuestro tramo en estudio se clasifica en una vía tipo **colectora rural** según su TPDA (653 vpd), ver tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de las carreteras según TPDA

TPDA	>20,000		20,000-10,000		10,000-3,000		3,000-500	
Clasificación funcional	No. C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav.	4-6	Pav.				
TS- Troncales Suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR- Troncales Rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS- Colectoras Suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR- Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

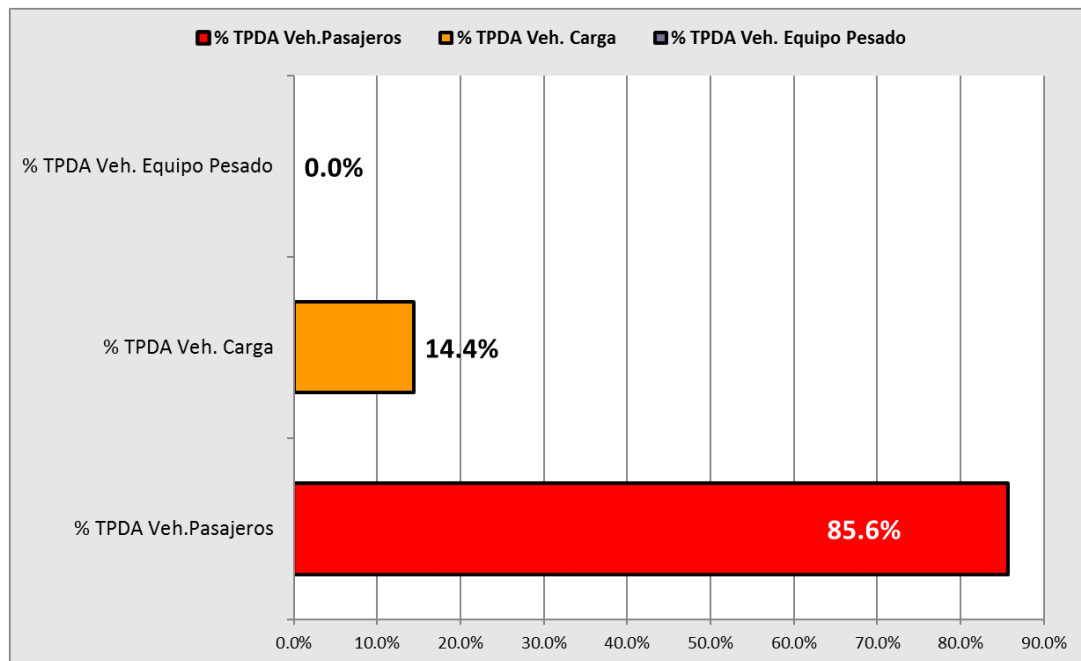
No.C : Número de carriles; Superf. : Superficie de rodamiento; Pav : Pavimento asfáltico o de cemento Portland.

Fuente: Normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2004.

3. 8 Composición Vehicular.

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera: vehículos livianos **85.6%**, vehículos de carga **14.4%**, y Otros vehículos **0.0%**. (Ver el siguiente Gráfico 3 a continuación)

Gráfico3. Composición Vehicular del Tránsito Diario Anual (TPDA).



Fuente: Elaboración propia

3. 8. 1 Determinación de tasas.

Para determinar las tasas de crecimiento para el tráfico vehicular futuro para el tramo en estudio, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” y el producto interno bruto “PIB”, así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB) de los últimos 14 años (**Ver Tabla 5**), donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2004 al año 2017.

Tabla 5. Registros históricos del PIB, TPDA y Población.

AÑO	TPDA	PIB (Miles \$)	POB (miles)
2004	2649.0	5796	5380.5
2005	2677.0	6321	5450.4
2006	2627.0	6786	5638.0
2007	2629.0	7458	5707.9
2008	2917.0	8491	5778.8
2009	3403.0	8381	5850.5
2010	3538.0	8741	5923.1
2011	3701.0	9756	5996.6
2012	4203.0	10533	6071.0
2013	4042.0	10983	6134.3
2014	4500.0	11880	6198.2
2015	5321.0	12748	6262.7
2016	6496.0	13230	6327.9
2017	6128.0	13814.2	6393.8

Fuente: Banco Central de Nicaragua (año 2017).

3. 8. 2 Tasas de crecimiento.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de estas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas al tramo en estudio.

Considerando los registros históricos del tráfico vehicular de ambas estaciones, se puede apreciar que los mismos han experimentado crecimientos importantes durante los últimos años.

En los registros de la estación N°301 (Empalme Guayacán – Matagalpa), la falta de continuidad de los datos en dicha estación no permite tener consistencia para determinar la tasa de crecimiento en tal estación, la cual tiene una tasa promedio de 11.79% durante los catorce años de conteo **(ver Tabla No. 6).**

Para la Estación N°300 (Sébaco-Quebrada Honda) la cual presenta una continuidad en los registros posee una tasa de crecimiento promedio de 8.07%.
(Ver Tabla 6, pág.25)

Las tasas de crecimiento interanual se calcularon usando la **ecuación 3**:

$$TC = \left[\left(\frac{Año_n}{Año_{n-1}} \right) - 1 \right] * 100 \quad \text{Ec.3.}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento.

Año n: Año actual.

Año n– 1: Año anterior

Tabla 6. Evolución TPDA de la Estación N° 301 (Empalme Guayacán-Matagalpa).

AÑO	TPDA	TCA
2004	2,927	
2005	-	-
2006	-	-
2007	-	-
2008	-	-
2009	3,973	6.30%
2010	4,248	6.92%
2011	4,561	7.37%
2012	5,471	19.95%
2013	-	-
2014	-	-
2015	-	-
2016	-	
2017	6,956	4.92%

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017,MTI– DAV).

Tabla 7. Evolución TPDA de la Estación 300. (Sébaco- Quebrada Honda)

AÑO	TPDA	TCA
2004	2649.0	
2005	2677.0	1.06%
2006	2627.0	-1.87%
2007	2629.0	0.08%
2008	2917.0	10.95%
2009	3403.0	16.66%
2010	3538.0	3.97%
2011	3701.0	4.61%
2012	4203.0	13.56%
2013	4042.0	-3.83%
2014	4500.0	11.33%
2015	5321.0	18.24%
2016	6496.0	22.08%
2017	6128.0	-5.67%

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017,MTI- DAV).

3. 8. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 14 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2004 al año 2017. El PIB promedio de 9,316 Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 7.19% **(Ver tabla – 8 a continuación).**

Tabla 8. Datos Históricos del PIB.

AÑO	PIB/Millones	T.C
2004	5796	
2005	6321	9.06%
2006	6786	7.36%
2007	7458	9.90%
2008	8491	13.85%
2009	8381	-1.30%
2010	8741	4.30%
2011	9756	11.60%
2012	10533	7.96%
2013	10983	4.28%
2014	11880	8.17%
2015	12748	7.30%
2016	13230	3.78%
2017	13814	4.41%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2017

3. 8. 4 Análisis de Población (POB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del POB de los últimos 14 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2004 al año 2017, la POB promedio es de 5,901.5 Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de 1.36%. A continuación **(Ver Tabla 9)**.

Tabla 9. Datos Históricos del POB

AÑO	POB/Miles	T.C
2004	5380.5	
2005	5450.4	1.30%
2006	5638.0	3.44%
2007	5707.9	1.24%
2008	5778.8	1.24%
2009	5850.5	1.24%
2010	5923.1	1.24%
2011	5996.6	1.24%
2012	6071.0	1.24%
2013	6134.3	1.04%
2014	6198.2	1.04%
2015	6262.7	1.04%
2016	6327.9	1.04%
2017	6393.8	1.04%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2017.

3. 8. 5 Proyección de tráfico

El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), de los últimos 14 años (período 2004 – 2017), y posterior se muestra la representación gráfica con la ecuación de correlación del TPDA de la Estación N° 300 (Sébaco – Quebrada Honda), con el Producto Interno Bruto, una vez que se realizó la correlación se procede a realizar una segunda aplicando logaritmo natural.

Tabla 10. Correlación TPDA Vs PIB

AÑO	TPDA vs PIB		LN TPDA vs LN PIB	
	TPDA	PIB (millones \$)	LN TPDA	LN PIB
2004	2649.0	5796	7.88	8.66
2005	2677.0	6321	7.89	8.75
2006	2627.0	6786	7.87	8.82
2007	2629.0	7458	7.87	8.92
2008	2917.0	8491	7.98	9.05
2009	3403.0	8381	8.13	9.03
2010	3538.0	8741	8.17	9.08
2011	3701.0	9756	8.22	9.19
2012	4203.0	10533	8.34	9.26
2013	4042.0	10983	8.30	9.30
2014	4500.0	11880	8.41	9.38
2015	5321.0	12748	8.58	9.45
2016	6496.0	13230	8.78	9.49
2017	6128.0	13814.20	8.72	9.53

Fuente: Elaboración propia

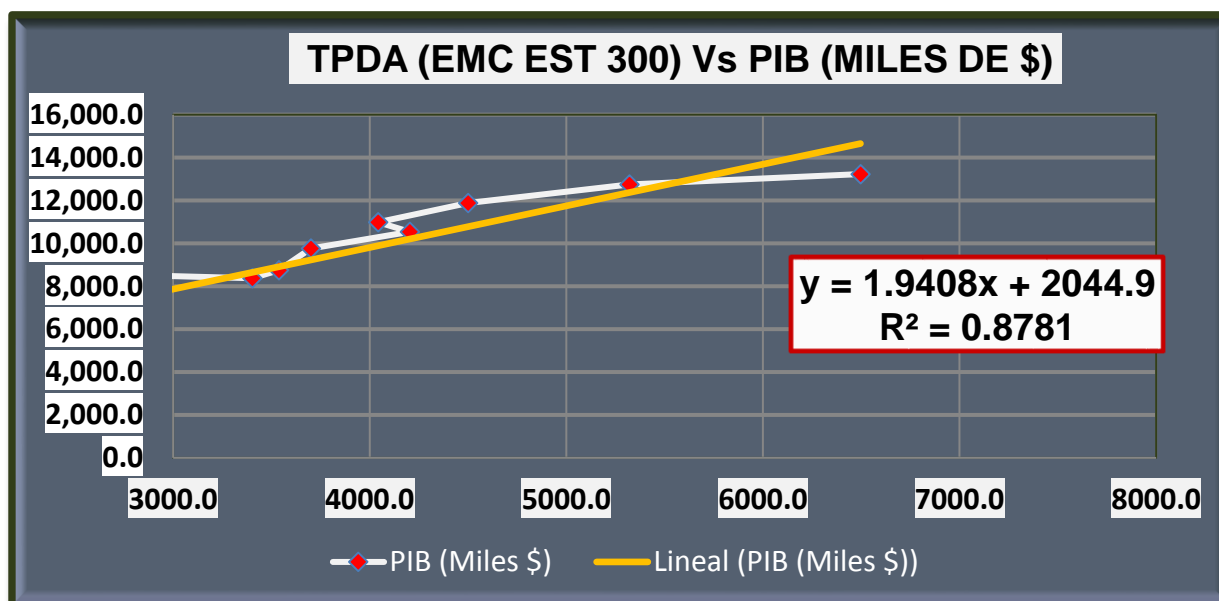
El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del TPDA – Población, en el período 2004 – 2017 y la representación gráfica con la ecuación de correlación del TPDA vs POB de la Estación N° 300 (Sébaco – Quebrada Honda). Ver siguiente tabla:

Tabla 11. Correlación TPDA Vs POB.

AÑO	TPDA vs POB		LN TPDA vs LN POB	
	TPDA	POB (miles)	LN TPDA	LN POB
2004	2649.0	5,380.5	7.88	8.59
2005	2677.0	5,450.4	7.89	8.60
2006	2627.0	5,638.0	7.87	8.64
2007	2629.0	5,707.9	7.87	8.65
2008	2917.0	5,778.8	7.98	8.66
2009	3403.0	5,850.5	8.13	8.67
2010	3538.0	5,923.1	8.17	8.69
2011	3701.0	5,996.6	8.22	8.70
2012	4203.0	6,071.0	8.34	8.71
2013	4042.0	6,134.3	8.30	8.72
2014	4500.0	6,198.2	8.41	8.73
2015	5321.0	6,262.7	8.58	8.74
2016	6496.0	6,327.9	8.78	8.75
2017	6128.0	6393.8	8.72	8.76

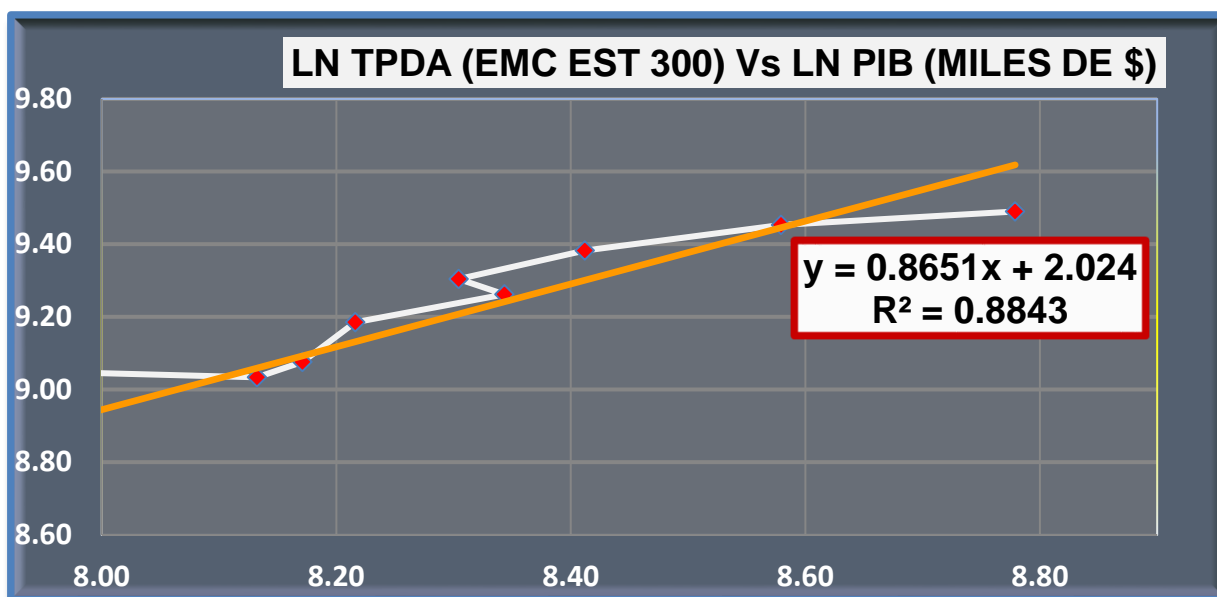
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Correlación TPDA Vs PIB.



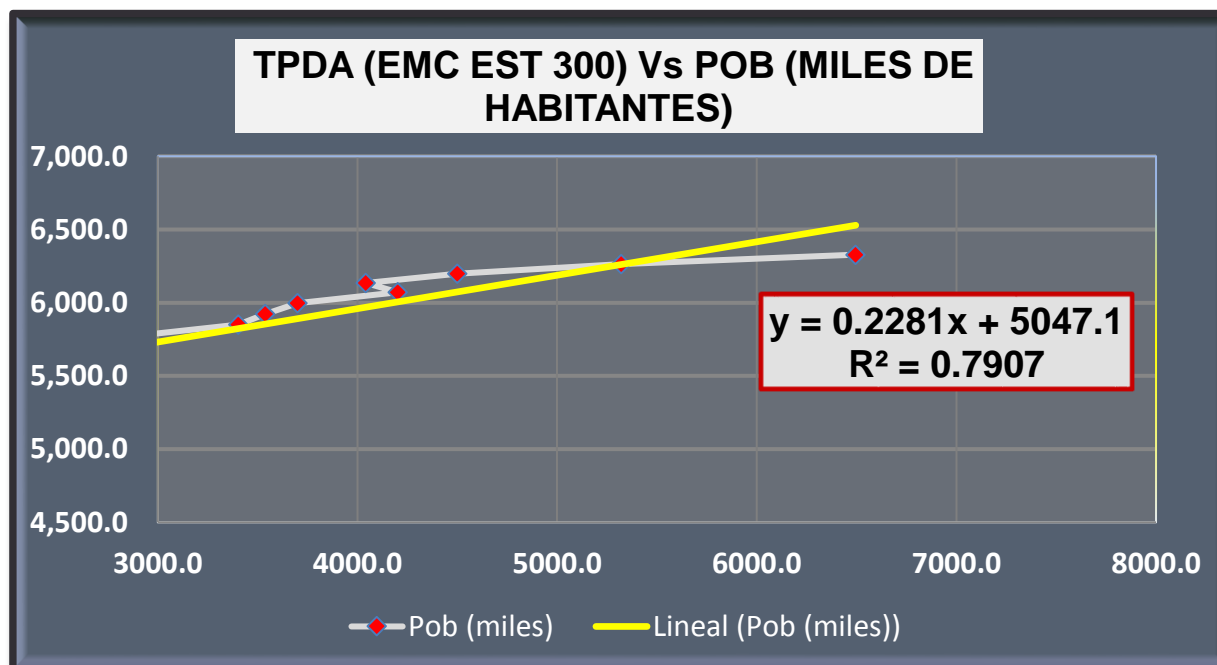
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Correlación LN TPDA Vs LN **POB**



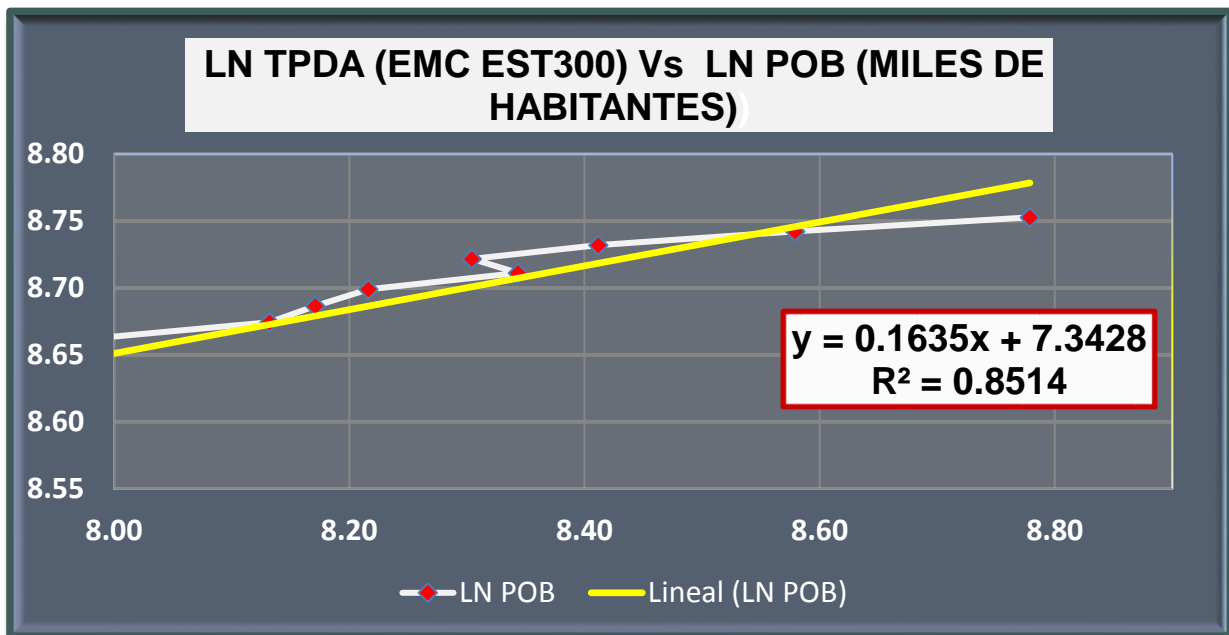
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Correlación TPDA Vs POB.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7. Correlación LN TPDA Vs LN POB



Fuente: Elaboración propia

La correlación de las variables TPDA Vs PIB genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a **0.8781** y la correlación de las variables Logaritmo Natural TPDA Vs Logaritmo Natural PIB genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a **0.8843**. En este caso utilizaremos el valor (R^2) igual a **0.8843** el cual fue mejorado con (LN), ya que poseen un coeficiente (R^2), mayor a **0.8781**, por tanto, Se escoge el segundo dato por tener un valor más alto y confiable, para determinar las tasas de crecimiento del tráfico de carga, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población hacia los diferentes destinos.

3. 8. 6 Cálculo de Proyección de tráfico.

Las tasas de crecimiento para PIB y POB serán afectados por las elasticidades que se escogieron de las correlaciones realizadas anteriormente, elasticidades que se tomaron en base a los (R^2), de mayor confiabilidad. Procedemos a calcular las tasas de crecimiento utilizando los datos históricos de TPDA, PIB, POB, para cada uno de ellos. (Ver Tabla 13 pág. 26).

Tabla 12: Elasticidades Resultantes de las Correlaciones.

CORRELACIÓN	ELASTICIDAD	CORRELACIÓN	ELASTICIDAD
TPDA Vs PIB	0.8781	LN TPDA-PIB	0.8843
TPDA Vs POB.	0.7907	LN TPDA-POB	0.8514

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Datos Históricos (TPDA, PIB, POB).

AÑO	TPDA	PIB (Miles \$)	POB (miles)
2004	2649.0	5796	5380.5
2005	2677.0	6321	5450.4
2006	2627.0	6786	5638.0
2007	2629.0	7458	5707.9
2008	2917.0	8491	5778.8
2009	3403.0	8381	5850.5
2010	3538.0	8741	5923.1
2011	3701.0	9756	5996.6
2012	4203.0	10533	6071.0
2013	4042.0	10983	6134.3
2014	4500.0	11880	6198.2
2015	5321.0	12748	6262.7
2016	6496.0	13230	6327.9
2017	6128.0	13814.20	6393.8

Fuente: Elaboración propia

A partir de estas series históricas, se procede a calcular la tasa de crecimiento para cada variable aplicando la siguiente expresión matemática:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \text{ Ec4.}$$

Donde:

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA_o: Tráfico Promedio Diario Actual del año base.

n: La diferencia de años.

Las tasas de crecimiento calculadas son:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{6,128}{2,649} \right)^{1/13} - 1 \right] * 100 = \mathbf{6.66\%}$$

$$TC_{PIB} = \left[\left(\frac{13814.20}{5796} \right)^{1/13} - 1 \right] * 100 = \mathbf{6.91\%}$$

$$TC_{POB} = \left[\left(\frac{6393.80}{5380.5} \right)^{1/13} - 1 \right] * 100 = \mathbf{1.34\%}$$

3. 9 Análisis de la información obtenida

Producto Interno Bruto: para conocer el valor de tasa de crecimiento promedio para el producto interno bruto se obtiene mediante la **ecuación 4**.

$$TC_{PIB} = 6.91 \% \times 0.8843(\text{Elasticidad}) = \mathbf{6.11\%}$$

Para la población: aplicando la **ecuación 4**, luego se multiplica por su elasticidad quedando con una tasa de **1.15%** para el crecimiento poblacional.

$$TC_{POB} = 1.34 \% \times 0.8514(\text{Elasticidad}) = \mathbf{1.15\%}$$

Tabla 14. Evolución del TPDA ECD 301

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	TPDA		
35	NIC-3	301	ECD	Ent. El Guayacán - Matagalpa	Matagalpa	2012	5,471		
						2011	4,561		
						2010	4,248		
						2009	3,973		
						2004	2,927		
						2002	2,923		
						2000	2,867		
						EMC: 101B			
						Tasa Crecimiento:		4.92%	2017

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017,MTI- DAV)

Según la evolución de las tasas de crecimiento en la estación de mayor cobertura (EMC 300) el promedio de las tasas es de 6.66%, no obstante, la tasa de crecimiento para la estación de corta duración (ECD 301) es de 4.92% y la tasa del PIB es de 6.11% y POB 1.11%. Dado que las tasas de 6.66% y 6.11% podrían resultar un poco altas para el tipo de camino, se decidió utilizar la tasa de crecimiento vehicular de **4.92%** para todo el tráfico, lo cual el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) resulta aceptable con relación al registro histórico de la Estaciones de Corta Duración “ECD 301”.

3. 9.1 Tráfico de diseño

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará un tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos.

Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente **Ecuación5:**

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad \text{Ec.5.}$$

3. 9. 2 Factor de Crecimiento

(FC): Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente **Ecuación 6:**

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec.6.}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1 + 0.0492)^{15} - 1}{0.0492} = 21.45$$

3. 9. 3 Período de Diseño (PD)

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo con las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, elegimos **15 años** para su período de diseño, ya que tenemos un TPDA de **653 Vehículos/día**.

Tabla 15. Período de Diseño.

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-urbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004.

3. 9. 4 Factor Distribución Por Dirección (FD).

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 ya que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos, aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. **(Ver Tabla 16)**

Tabla 16. Factor de Distribución por Dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA, 2004.

Identificamos el factor de distribución por dirección a usarse para nuestro diseño que es de; **0.50**.

3. 9. 5 Factor Distribución Por Carril (FC).

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). **En la Tabla 17** que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

Tabla 17. Factor Distribución por Carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA, 2004.

El factor de distribución por carril a usarse es 1.00.

3. 9. 6 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).

Es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos articulado fue de **Po=4.2** según el manual SIECA Capitulo 3 Pág. 4.

3. 9. 7 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía:

Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de $pt = 1.8$ – 2.0 según el manual SIECA Capitulo 3 Pág. 4. En este caso se decidió tomar el valor de **Pt=2.0**.

3. 9. 8 Pérdida de Serviciabilidad (ΔPSI).

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente **Ecuación–7**:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad \text{Ec.7.}$$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado del de estudio se trabajó con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

3. 9. 9 Número Estructural Asumido (SN).

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este Diseño seleccionamos el valor **SN=5**.

3. 9. 10 Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (**Pt=2.0**), el número estructural asumido (**SN=5**) y los pesos (se encuentran en Kips), los factores de equivalencia se obtienen (**Ver Anexo, Tabla 56 y 57, pág. XI-XII**).

Si los factores de equivalencia de cargas en los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de Interpolar dichos valores.

3. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365 \quad \text{Ec.8.}$$

$$ESAL \text{ o } W18 = TD \times FESAL \quad \text{Ec.9.}$$

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación de los Ejes equivalente (ESAL), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la siguiente:

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación de los Ejes equivalente (FESAL) para cada eje y tipo de vehículos, tal como se muestra en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Tránsito de Diseño.

Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL'S							
Tipo de vehiculos	Transito Actual (2018)	F.C.	Dias del año	Transito de diseño	Factor por carril(Fc)	Factor de Dirección (Fs)	Transito para el carril de diseño
Autos	146.00	21.45	365	1,143,070.50	0.50	1.00	571,535.25
Jeep	30.00	21.45	365	234,877.50	0.50	1.00	117,438.75
Camionetas	98.00	21.45	365	767,266.50	0.50	1.00	383,633.25
McBus<15 pas	10.00	21.45	365	78,292.50	0.50	1.00	39,146.25
MnBus 15-30 pas	14.00	21.45	365	109,609.50	0.50	1.00	54,804.75
Bus	33.00	21.45	365	258,365.25	0.50	1.00	129,182.63
C2 liv	44.00	21.45	365	344,487.00	0.50	1.00	172,243.50
C2.5 +ton	29.00	21.45	365	227,048.25	0.50	1.00	113,524.13
C3	12.00	21.45	365	93,951.00	0.50	1.00	46,975.50
Total							1,628,484.000

Fuente: Elaboración propia

Una vez conocido el tránsito de Diseño, se procede a realizar el cálculo **ESAL'S** del Carril de Diseño, como en algunos casos el peso por eje Kips no está dado en la tabla factores Equivalentes de Cargas Ejes Simples, y Ejes tándem.

Se deberá interpolar el valor exacto utilizando la siguiente formula:

$$y_x = y^0 + \frac{x-x^0}{x^1-x^0} (y^1 - y^0) \quad \text{Ec.10.}$$

Tabla 19. Factores de ejes Kips a Interpolar.

FACTORES DE EJES KIPS	
Ejes Sencillos	Ejes Dobles
2.2, 4.4, 8.8, 11, 17.6	36.30

$y_{2.2} = 0.0002 + \frac{2.2 - 2}{4 - 2} (0.002 - 0.0002)$ $y_{2.2} = 0.0002 + \frac{0.2}{2} (0.0018)$ $y_{2.2} = \mathbf{0.00038}$	$y_{4.4} = 0.002 + \frac{4.4 - 4}{6 - 4} (0.009 - 0.002)$ $y_{4.4} = 0.002 + \frac{0.4}{2} (0.007)$ $y_{4.4} = \mathbf{0.0034}$
$y_{8.8} = 0.031 + \frac{8.8 - 8}{10 - 8} (0.079 - 0.031)$ $y_{8.8} = 0.031 + \frac{0.8}{2} (0.048)$ $y_{8.8} = \mathbf{0.0502}$	$y_{11} = 0.079 + \frac{11 - 10}{12 - 10} (0.174 - 0.079)$ $y_{11} = 0.079 + \frac{1}{2} (0.095)$ $y_{11} = \mathbf{0.1265}$
$y_{17.6} = 0.603 + \frac{17.6 - 16}{18 - 16} (1.00 - 0.603)$ $y_{17.6} = 0.603 + \frac{1.6}{2} (0.397)$ $y_{17.6} = \mathbf{0.9206}$	$y_{36.3} = 1.38 + \frac{36.3 - 36}{38 - 36} (1.73 - 1.38)$ $y_{36.3} = 1.38 + \frac{0.3}{2} (0.35)$ $y_{36.3} = \mathbf{1.4325}$

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la **Ecuación 9** para el cálculo de ESAL'S.

Tabla 20. Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño

Cálculo ESAL´S del carril de diseño								
Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0								
Tipo de vehiculos	Peso X eje (Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	TPDA 2018	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	146.00	571,535.25	571,536.00	0.00038	217
	1.00	2.20	Simple				0.00038	217
Jeep	1.00	2.20	Simple	30.00	117,438.75	117,439.00	0.00038	45
	1.00	2.20	Simple				0.00038	45
Camionetas	1.00	2.20	Simple	98.00	383,633.25	383,633.00	0.00038	146
	2.00	4.40	Simple				0.0034	1304
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	10.00	39,146.25	39,146.00	0.0034	133
	4.00	8.80	Simple				0.0502	1965
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	14.00	54,804.75	54,805.00	0.0502	2751
	8.00	17.60	Simple				0.9206	50453
Bus	5.00	11.00	Simple	33.00	129,182.63	129,183.00	0.1265	16342
	10.00	22.00	Simple				2.35	303580
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	44.00	172,243.50	172,244.00	0.0502	8647
	8.00	17.60	Simple				0.9206	158568
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	29.00	113,524.13	113,524.00	0.1265	14361
	10.00	22.00	Simple				2.35	266781
C3	5.00	11.00	Simple	12.00	46,975.50	46,976.00	0.1265	5942
	16.50	36.30	Doble				1.43	67176
Total ESAL´S de Diseño(W18)								898,673.00
								8.99E+05

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo un valor ESAL's de **898,673.00 equivalente = 8.99E+05**

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 lbs.) y representa el carril de diseño.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO GEOTÉCNICO

4.1 Metodología.

Uno de los puntos más importantes en lo que se refiere a las construcciones y al levantamiento de diferentes tipos de construcciones son las condiciones que ofrece el suelo; pues dependiendo de esto se determinara si es o no adecuado hacer una obra en un territorio.

El objetivo del estudio suelo es conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo del camino, por medio de la realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas de los sondeos, el análisis de la información resultante, tiene como finalidad obtener los Espesores del Pavimento, tomando además en cuenta, el tráfico, el clima y drenaje en el área del Proyecto.

En este capítulo se detallan los procedimientos llevados a cabo a lo largo del tramo en estudio, con el propósito de evaluar y analizar las características físicas, mecánicas y condiciones de soporte del suelo, y así poder contar con la información básica necesaria para la determinación de los espesores a colocar a lo largo de la vía. Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por la Alcaldía de Matagalpa.

Todos los ensayos se realizaron en conformidad a lo establecido en las Normas de la ASTM (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), y AASHTO, entre ellas: Humedad, Valor de Soporte (CBR), Granulometria, Limites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico) y Densidad (Proctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 21. Tipos de ensayos para estudio de suelos.

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría	D – 422	T – 2788
Límite Líquido	D – 423	T – 8990 y 9087
Índice de Plasticidad	D – 424	T – 9097
Ensayo Proctor Modificado	D – 1557 – 91	T – 180 – 90
Ensayo CBR.	D – 1883 – 73	T – 193 – 81

Fuente: AASHTO, Tercero Edición. Año 2003. Páginas 53-85.

4.2. Ensayos de Suelos en Línea.

Según los estudios de suelos se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 200 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 1+100. Se efectuaron 7 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 19 muestras inalteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

4.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.

A continuación, se muestra el tipo de suelo que predomina en cada uno de los tramos en estudio, según los resultados de clasificación obtenidos en los sondeos manuales realizados para cada caso. **(ver anexos, Tabla 59 pág. XIV)**

Superficialmente como capa de rodamiento con espesor mínimo de 25 cm y hasta el final de los sondeos de 1.50 m de profundidad, existen principalmente suelos gravo areno-arcillosos suelos tipo A-2-6 (1), A-7-6 (20) y A-2-4 (0). La mayoría con coloración café.

El valor de los ensayos C.B.R. (AASHTO T-193) obtenidos de las muestras de rodamiento, compactadas al 90 %, 95 % y 100% del Próctor Estándar (AASHTO T-99), fue del orden de 2% a 11 %, de 7% a 25 % y de 10 % a 30 %, respectivamente.

Entre los suelos de rodamiento que predominan y presenta una plasticidad de 29% a 39 % en el Límite Líquido y 13% a 24% en el Índice de Plasticidad, este corresponde al Sondeo manual No. 1,2,3 y 7 con una profundidad de 1 m.

El suelo del tipo **A – 2 – 6** presenta un valor de CBR de 7, para su uso como subrasante esta categorizada como de regular a buena calidad. El Límite Líquido de este tipo de suelo se ubica entre 29 % y 39 %, mientras que el Índice de Plasticidad tiene un valor entre 13% y 24%.

El suelo A – 2 – 4. Presenta un valor de CBR de 21 %, se caracteriza por ser un suelo de regular a buena calidad. El Límite Líquido determinado se ubica entre 31% y 33%, mientras que el Índice de Plasticidad tiene un valor entre 22 % y 24%. Los suelos del tipo **A – 2 – 4**

Para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se realizó la secuencia estratigráfica del sitio en estudio. **(Ver Anexo, Gráfico 14, pág. XV).**

4.3. Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.

En base en los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio realizado por **NicaSolum** y suministrados por la Alcaldía de Matagalpa, se analizó el Banco de materiales, para así poder conocer la función que puede desempeñar este. Los cuales se presentan a continuación:

Tabla 22. Características de los Bancos de materiales

Nombre y propiedad del Banco	Roger Soza					
Tamiz	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% que Pasa	46	27	17	11	7	5
Límite Líquido	33	Índice de plasticidad				10
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)	Equivalente de Arena				
Tipo de prueba empleada		Modificado				
Peso vol. Seco máximo		2,057				
Humedad optima		10.80%				
Método compactación empleado	ASTM-D-1883					
% de compactación	90%		95%		100%	
Peso vol. Seco reproducido (kg/m3)	1,843		1941		2,046	
C.B.R	26%		46%		64%	
Hinchamiento (%)						
Tipo de Saturación (Horas)	96		96		96	
Observaciones materiales	El material es grava gruesa a fina con poco fino y arena con limo y arcilla color gris claro					

Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa, NicaSolum.

4.3.1.2. Consideraciones para la Base.

Esta es la capa que se encuentra colocada por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación muy cercana a la aplicación de las cargas se requiere materiales de gran calidad y resistencia. Por tanto, deben de cumplir las especificaciones que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 23. Requisitos graduación de agregados.

Cuadro 1003.10 de NIC 2000, Requisitos graduación de agregados.			
Tamiz (mm)	% que debe pasar por los tamices	Banco Roger Soza	Valoración
75	100	-	-
4.75	30-45	30	Cumple
0.075	5-15	5	Cumple

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.

Tabla 24. Materiales Granulares para Caminos de bajo Costo

N°	Propiedad	Limites	Norma de Prueba
1	Límite líquido	35% Máx.	AASHTO T-89
2	Índice plástico	Min.5%-12% Máx.	AASHTO T-90
3	C.B.R	60% Mín.	AASHTO T-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% Máx.	AASHTO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
6	Compactación	95% mín. del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado.	AASHTO T-191 y/o T-238

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.

4.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales para capa de base el Banco ("**Roger Soza**").

En cuanto a las propiedades plásticas de los materiales muestreados, tenemos que este presenta Limite Liquido de 33% (AASHTO T-89) y expone el Índice de Plasticidad de 10% (AASHTO T-90).

El Peso Volumétrico Seco máximo es de 2,057 kg/m³, con una Humedad Optima de 10.80%. El resultado del ensayo CBR realizado corresponde a 100% (64%).

4.6. Determinación del CBR de Diseño.

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub rasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193. Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

- 1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Sub-rasante.
- 2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

4.6.1. Identificación de la Sub-rasante.

La Sub-rasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Se puede apreciar en los perfiles estratigráficos que este tramo cuenta con una capa de rodadura de un espesor no mayor a **25 cm**, el cual corresponde de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO como A-2-6 (1), el cual se considera está construido sobre la sub-rasante. Es por eso que en este diseño tomaron todos los valores de CBR que están por debajo de 25 cm, ya que es donde se encuentra un estrato de suelo más uniforme, y de esta manera se compensa el espesor que tendrá la estructura de pavimento articulado.

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones para sub-rasante.

Tabla 25. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante.

No.	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla N° 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Limite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-89
3	Índice Plástico	15 % máx.	10 % máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10 % Min.	20 % Min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-99)	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.

El método más común para calcular el CBR de diseño es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales obtenidos que sea iguales o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule por el pavimento.

Tomando en cuenta que el ESAL's es **de 898,673.00** por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de **75%**, tal y como se indica en la **Tabla N°26**.

Tabla 26. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño.

Cargas Equivalentes Totales (ESAL´s)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL´s	60
Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL´s	75
> de 1,000,000 ESAL´s	87.5

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la sub rasante:

Tabla 27. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante.

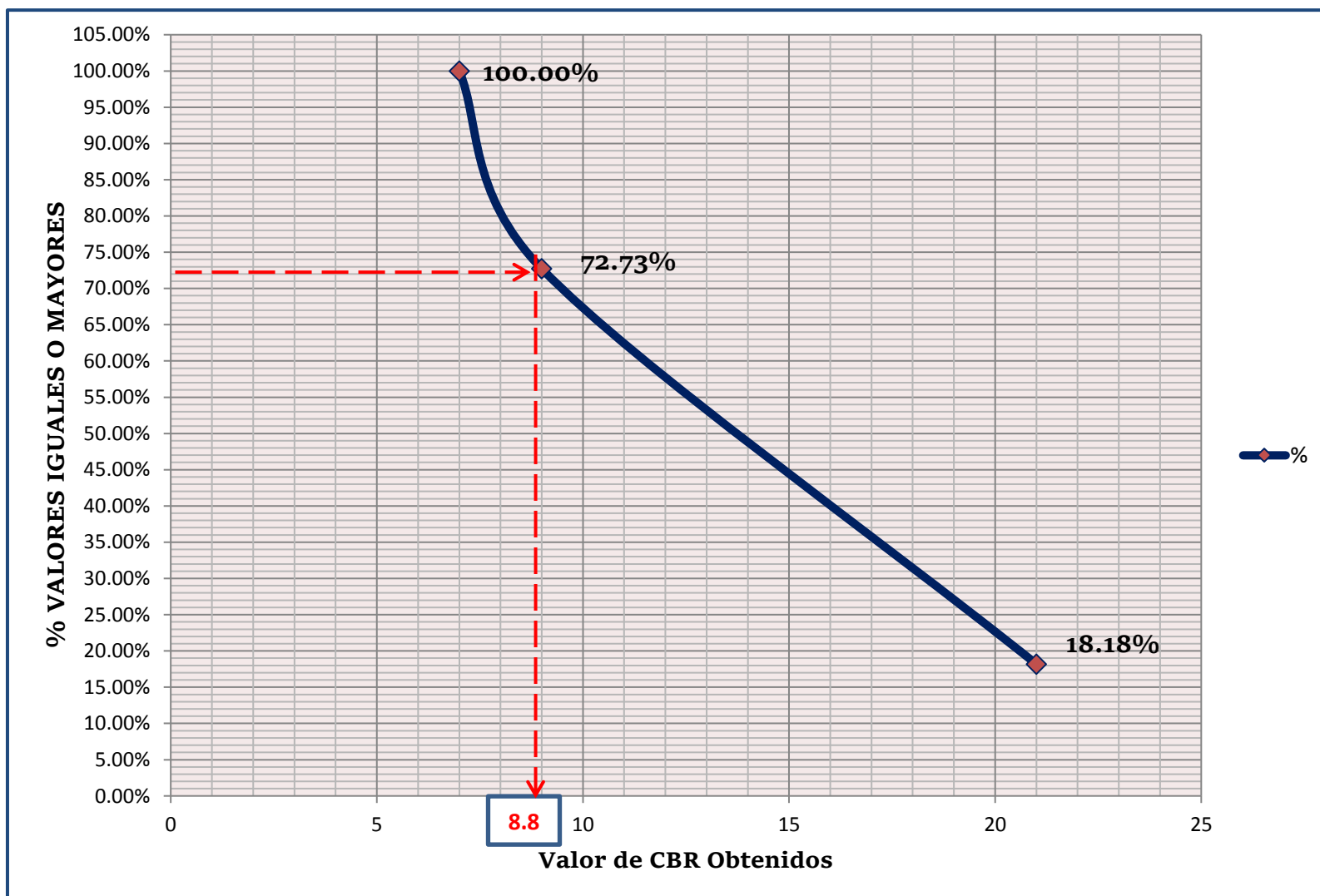
CLASIFICACION AASHTO	CBR	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	%
A-2-6(1)	7	3	11	100.00%
A-7-6 (20)	9	6	8	72.73%
A-2-4 (0)	21	2	2	18.18%
TOTAL DE MUESTRAS DE CBR=		11		

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores CBR y porcentajes de cada uno de los valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño para sub-rasante.

De acuerdo al tránsito que se espera que circule en la vía, determinado en el estudio de tránsito de este proyecto, y sabiendo que éste será de **898,673.00**; se eligió el valor percentil para el diseño de sub-rasante según lo muestra la **Tabla N°26** que es de 75% de los valores mayores o iguales, el cual se intercepto con la curva de los valores de CBR como se aprecia en el gráfico 8, para encontrar el CBR de diseño de la sub-rasante a continuación

Gráfico 8. Selección del CBR de Diseño.



Fuente: Elaboración propia

El resultado del **CBR** de diseño para la subrasante fue de **8.8%**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea y de acuerdo con la clasificación de los suelos de la AASHTO este valor representa una subrasante regular para la estructura de pavimento.

Tabla 28. Clasificación cualitativa del suelo.

CBR %		CLASIFICACION GENERAL	USOS
0	3	Muy pobre	Subrasante
3	7	Pobre a regular	Subrasante
7	20	Regular	Subrasante
20	50	Bueno	Subbase y base
>	50	Excelente	Base

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

CAPÍTULO V

DISEÑO DE PAVIMENTO

5.1. Generalidades.

El método de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, es el más usado y cuenta con técnicas de diseño para estructuras de pavimentos rígidos, semi-rígidos, flexibles y articulados. Se ha elegido el método AASHTO, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO.

En Nicaragua se utilizan 4 tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfáltica, de concreto hidráulico y adoquinado. Debido a su fácil manejo y otras características en este estudio se eligió adoquines, en todo caso resulta una alternativa económica y de fácil mantenimiento.

5.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93:

5.2.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño $F=1$.

Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio, el ESAL de diseño es **898,673.00**.

5.2.2. Confiabilidad.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que el sistema de pavimento durante todo el período de diseño se comporte de manera satisfactoria bajo las condiciones de carga.

Esta variable trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, cuyo valor depende de variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento, del nivel de confiabilidad elegido y del error estándar combinado, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan se desempeñarán satisfactoriamente sobre las cargas de tráfico y condiciones ambientales que durarán como mínimo el período de diseño.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **80%**, que corresponde a un valor recomendado para una Carretera Colectora rural lo cual se muestra en la **Tabla N°29**. Esta confiabilidad seleccionada de acuerdo con el grado funcional del tipo de la carretera presenta una desviación **Zr** de **-0.841**, lo cual se muestra en la **Tabla N°30**.

Tabla 29. Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera

Tipo de Camino	Confiabilidad Recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rurales Interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004.

Tabla 30. Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

5.2.3. Desviación Estándar.

La desviación estándar Aplicada en este modelo se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción del mismo. Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito.

Tabla 31. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio.

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Articulado
En construcción nueva	0.35	0.45
En sobre capas	0.39	0.49

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

5.2.4. Serviciabilidad.

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Para su determinación se realizan estudios de calidad en dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar.

La forma más sencilla para determinar la pérdida de serviciabilidad se muestra en el capítulo 7, página 5 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA), se muestran los valores recomendados de desvío estándar comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Tabla 32. Factores de Serviciabilidad.

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Pt= 2.5 o más para caminos principales
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	Pt= 2.0 para caminos de Tránsito menor

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

5.2.5. Coeficiente de drenaje.

El drenaje del agua en los pavimentos es un aspecto importante que considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

La AASHTO 93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, la forma de consideración de los coeficientes se demuestra en la **Tabla N° 33 - 34.**

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar es de **mi = 1.00.**

Tabla 33. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad.

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

Tabla 34. Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación.

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

5.2.6. Cálculo del CBR de diseño.

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de **8.8%**. Este se obtuvo con un percentil de **75%**. (Ver Gráfico 8 del cap. IV, pág.43).

5.2.7. Módulo de Resiliencia (MR).

La base para la caracterización de los materiales de la sub-rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición.

Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO, establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la sub rasante.

Tabla 35. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	Mr = 1500 * CBR
CBR > 10%	Mr = 4,326*Ln (CBR)+241

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93.

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la sub rasante de **8.8%**, utilizaremos el primer criterio para calcular el Módulo Resiliente de la sub-rasante aplicando la ecuación N° 11, por tanto:

$$\text{Mr} = 1500 \times (\text{CBR}) \quad \text{Ec.11.}$$

$$\text{Mr} = 1500 \times (8.8\%)$$

$$\text{Mr} = 13,200 \text{ psi}$$

El Módulo Resiliente de la sub rasante es Mr= 13,200 PSI

5.2.8. Coeficientes de capa.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (**a_n**), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. Estos están representados con la siguiente simbología:

a₁: Para la carpeta de rodamiento (**Adoquín**).

a₂: Para la base granular (**CBR 64 %**)

a₃: Para la subbase granular (**CBR 64 %**)

5.2.8.1. Coeficientes Estructural a_1 .

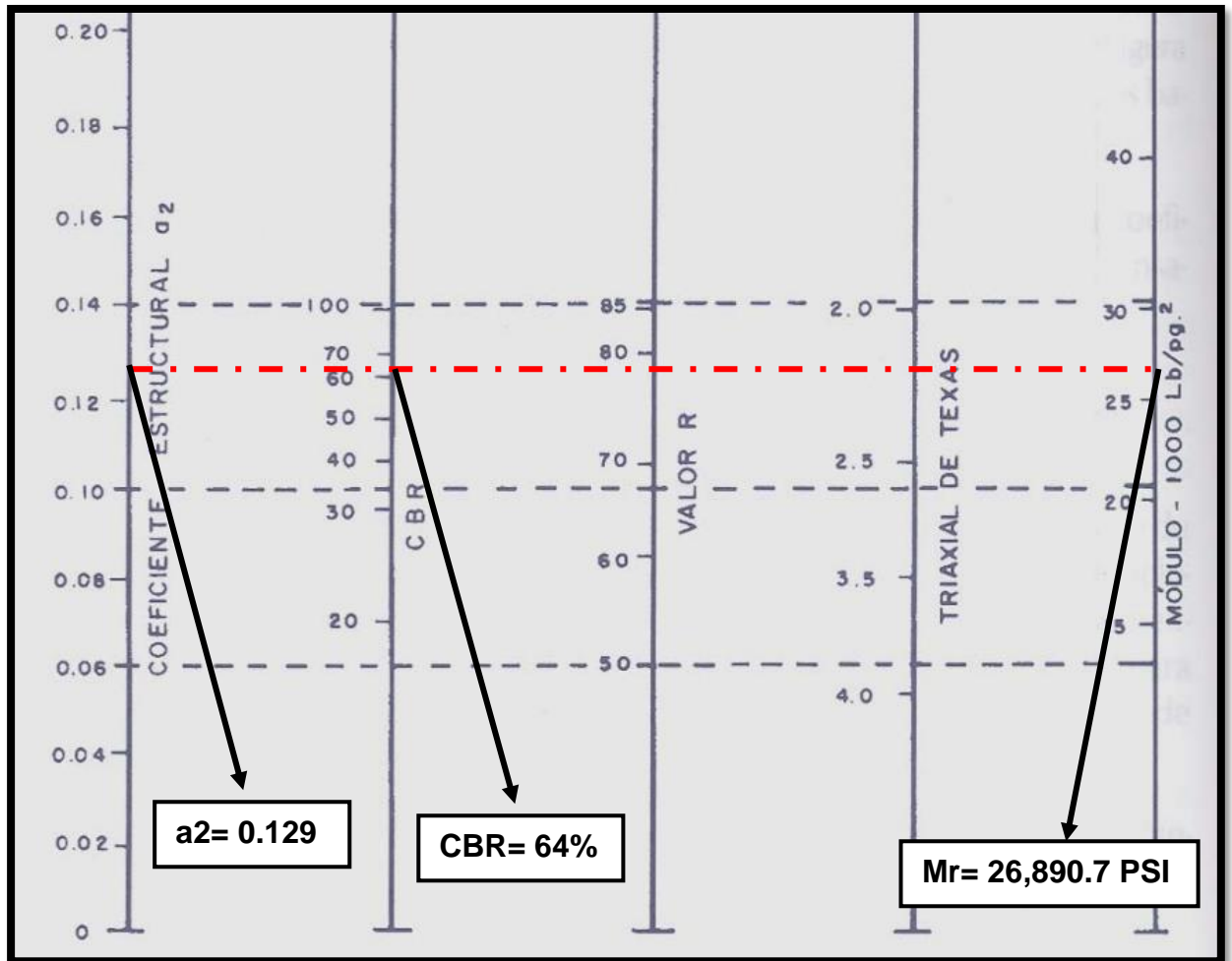
El coeficiente estructural de capa de un asfalto denso graduado basado en su módulo elástico (EEC) según la guía de la AASHTO-93, para el diseño de estructuras de pavimento se recomienda utilizar valores, no mayores de **450,000.00 psi** para el módulo de elasticidad. Los adoquines tienen un comportamiento similar al de un concreto asfáltico, se utiliza para este tipo de carpeta (Adoquín), un coeficiente a_1 de **0.45**

5.2.8.2. Coeficientes Estructurales a_2 y a_3 .

La determinación del coeficiente estructural a_2 y a_3 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base y subbase granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-36).

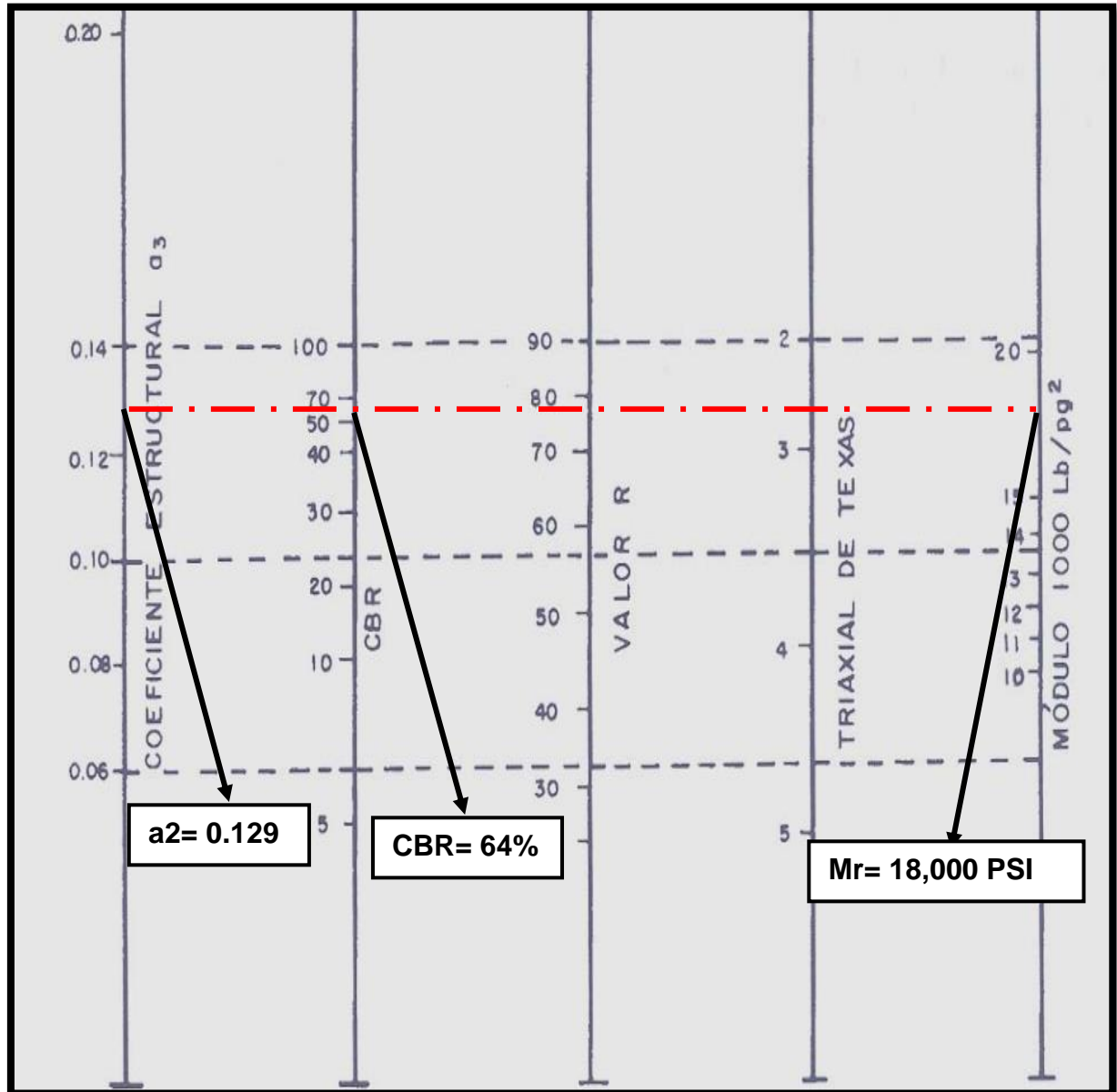
El valor de CBR usado para el cálculo de la Base y subbase es igual a **64 %** que es el correspondiente al Banco (Roger Soza) y de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de a_2 y $a_3 = 0.129$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$M_r = 26,890.70 \text{ PSI}$** y para la subbase= **18,000 PSI**

Gráfico 9. Obtención del Coeficiente estructural a_2 y el Módulo Resiliente, para Base granular.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Gráfico 10. Obtención del Coeficiente estructural a_3 y el Módulo Resiliente, para Sub base Granular



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

5.2.9. Número Estructural.

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil.

Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa.

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \text{ Ec.12.}$$

Donde:

D_{1, 2,3} = espesores de capas respectivamente en (pulgadas).

a_i = coeficiente estructural de capa i, dependiente de su módulo

m_i = coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

5.3. Cálculo de Espesores.

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D₁ = 4 pulgadas.**

Se calcula el número correspondiente a la capa de la siguiente forma:

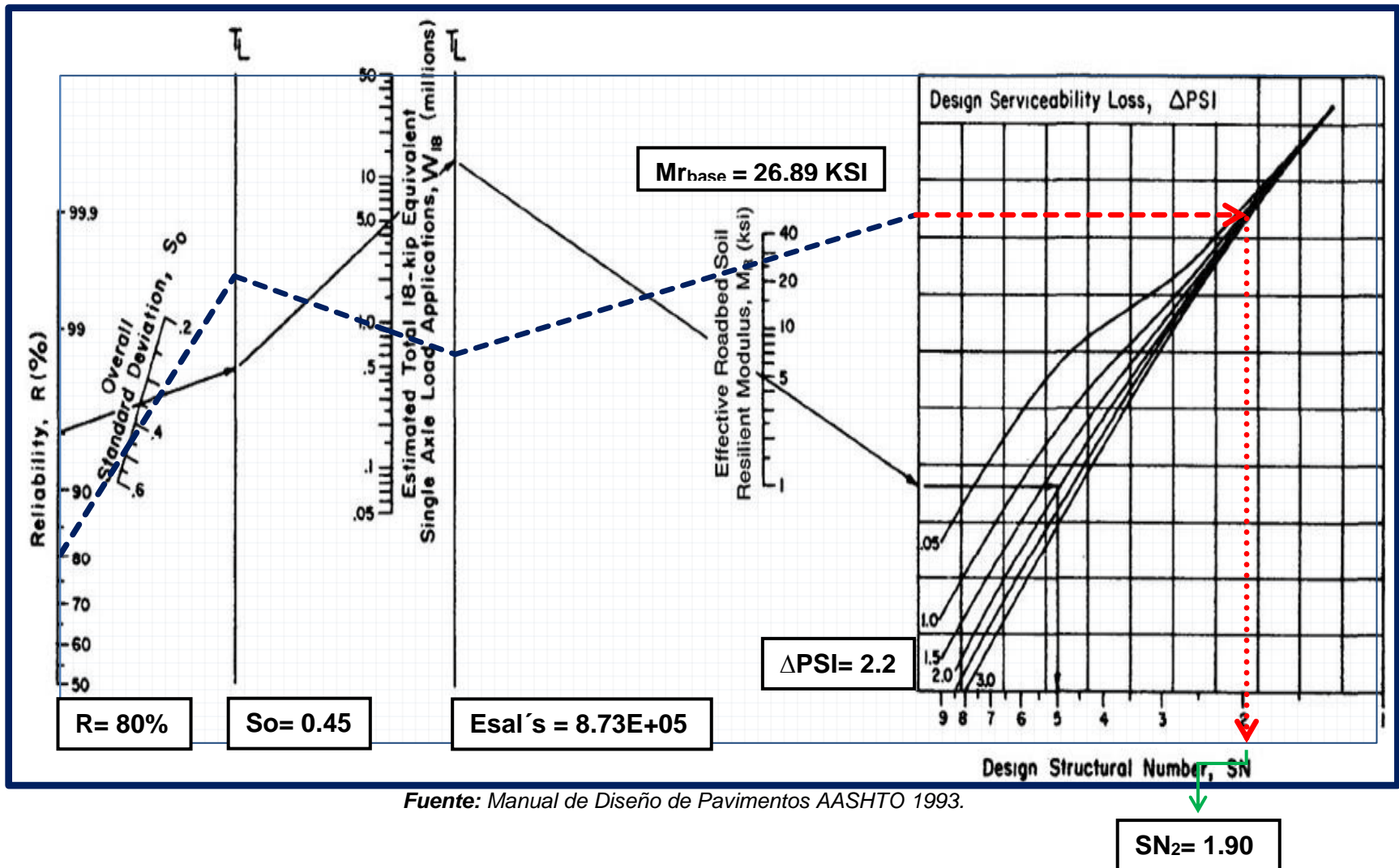
$$SN_1 = a_1 * D_1 \text{ Ec.13.}$$

$$SN_1 = (0.45) * (4.00)$$

$$SN_1 = 1.8$$

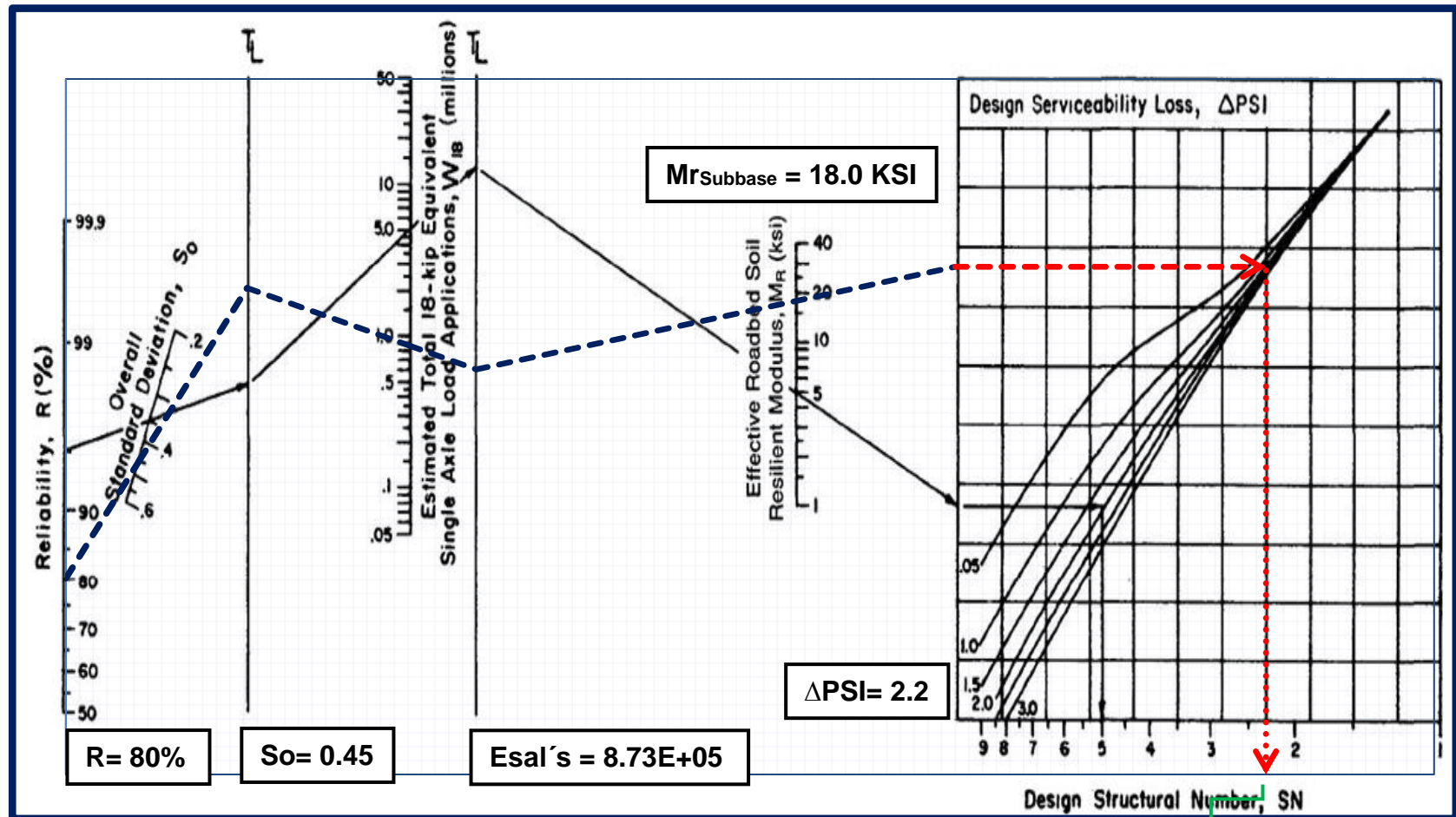
Para los cálculos de **SN₂**, **SN₃** y (**SN_{requerido}**), se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993).

Gráfico 11. Obtención del Número estructural (Base) SN_2



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

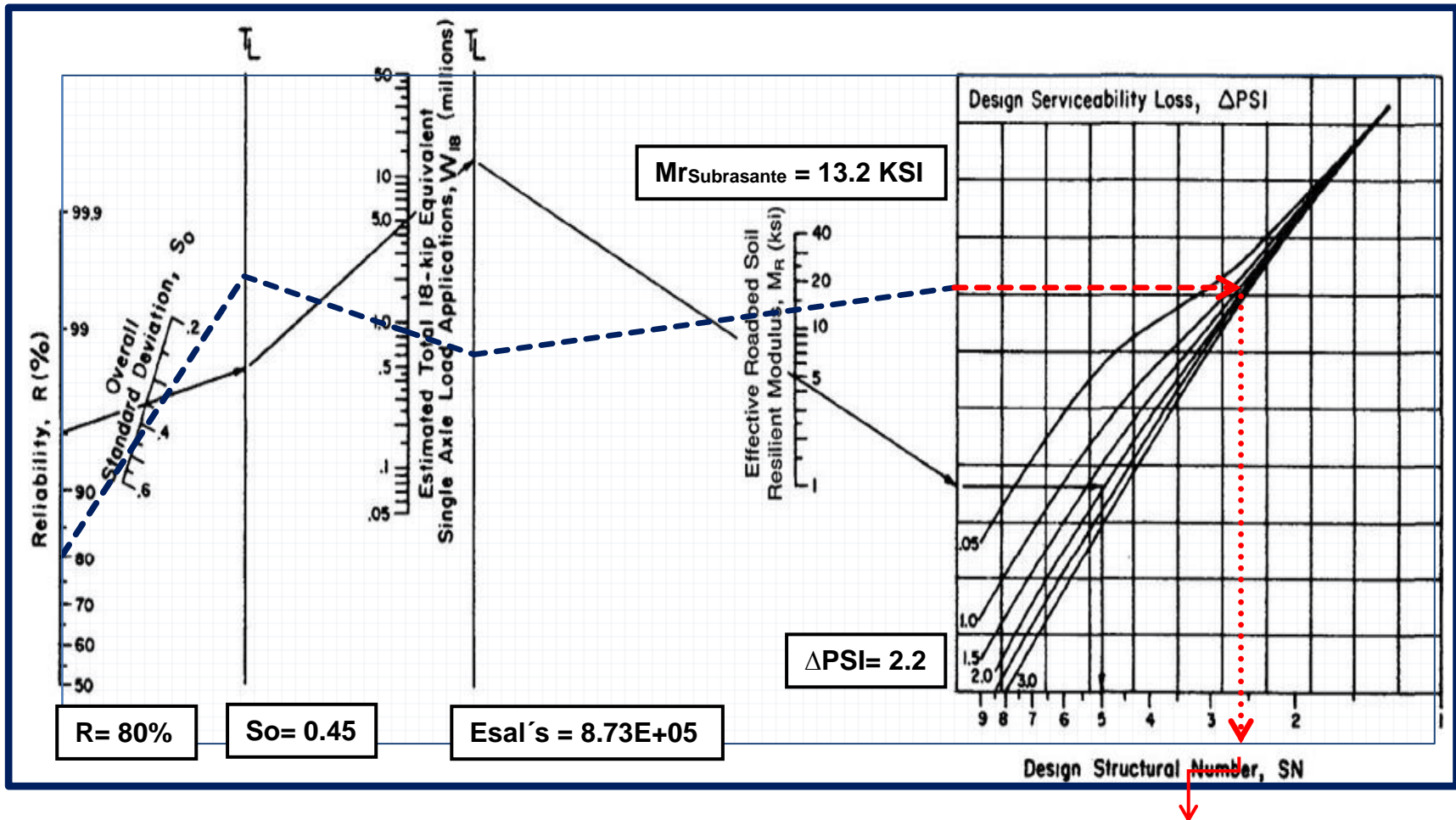
Gráfico 12. Obtención del Número estructural (Subbase) SN_3



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

$SN_3 = 2.21$

Gráfico 13. Obtención del Número estructural (Subrasante) SN Requerido.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

SNrequerido=2.50

5.3.1. Cálculo del espesor de la base (D₂).

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN₁, entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

Cálculo del espesor para la Base (D₂):

$$D_2 = (SN_2 - SN_1) / (a_2 * m_2) \quad \text{Ec.14.}$$

$$D_2 = (1.90 - 1.8) / (0.129 * 1.00)$$

$$D_2 = 0.78'' \text{ pulgadas}$$

$$D_2 = 1.97 \text{ cm}$$

Las **0.78** pulgadas fue el espesor calculado **D₂** (Base), no obstante, este espesor no cumple con el espesor mínimo sugeridos por la AASHTO para la capa base, así que se hizo necesario utilizar el recomendado en la **Tabla 36** para el ESAL's de diseño de **898,673.00**. El espesor mínimo de la base granular es **6.00 pulgadas** (15 centímetros).

Tabla 36. Espesores Mínimos Sugeridos para Base o Sub-Base.

Numero de ESAL's	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfaltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	3	6
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 175.

Se corrige el número estructural SN₂: utilizando espesor mínimo de 6" pulgadas

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec.15.}$$

$$SN_2 = (0.129) * (6) * (1.00)$$

$$SN^*_2 = 0.77$$

Cálculo del espesor para la Subbase (D₃):

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 * m_3} \quad \text{Ec.15.}$$

$$D_3 = \frac{2.21 - (1.80 + 0.77)}{0.129 * 1} = -0.36"$$

- Dado que el resultado para subbase resultó un valor negativo (-0.36") esta capa no será necesaria; Según los criterios AASHTO 93

Verificación tenemos la formula siguiente:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_3$$

$$1.80 + 0.774 = \underline{2.57 > 1.90 \text{ O.K}}$$

Comprobación:

$$SN_1 + SN_2 + \geq SN_{requerido} \quad \text{Ec.17.}$$

$$1.8 + 0.774 \geq 2.50$$

$$2.57 \geq 2.50 \quad \text{O.K}$$

5.3.2. Espesores finales de Diseño.

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 1.1km del tramo Yaulé – Yaulé Abajo será de **4 pulgadas** ya que este caso se utilizará adoquín, la base granular será **6 pulgadas**, los espesores detallados son los siguientes:

Tabla 37. Espesores de Diseño.

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Capa de rodamiento (Adoquín)	4"	10cm
Capa de arena	2"	5cm
Base granular	6"	15cm
Espesor Total Requerido	12"	30cm

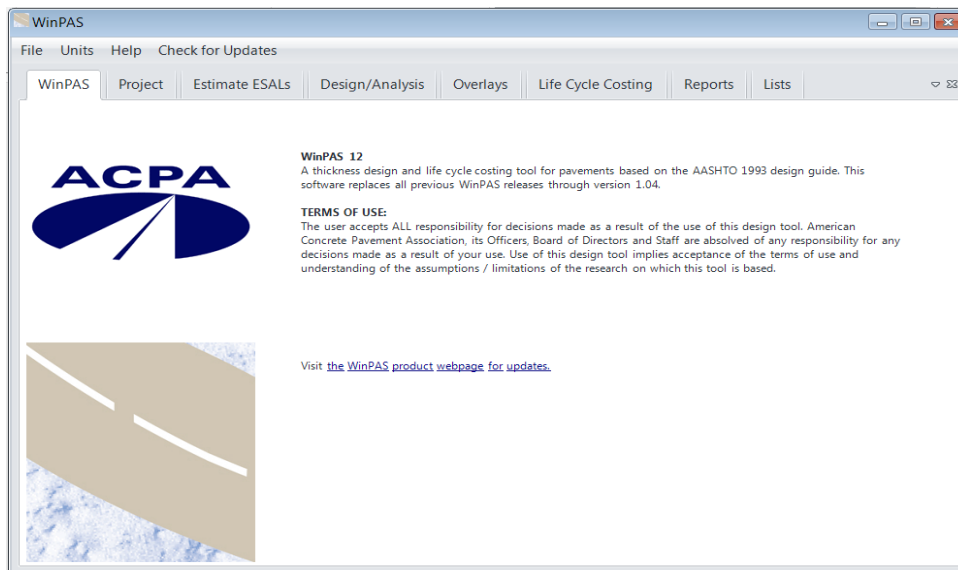
Fuente: Elaboración propia

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural. **(ver anexos imagen 15 y 16, pág. XVI-XVII)**

5.4. Uso del programa WinPAS.

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa WinPAS. El cual resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño.

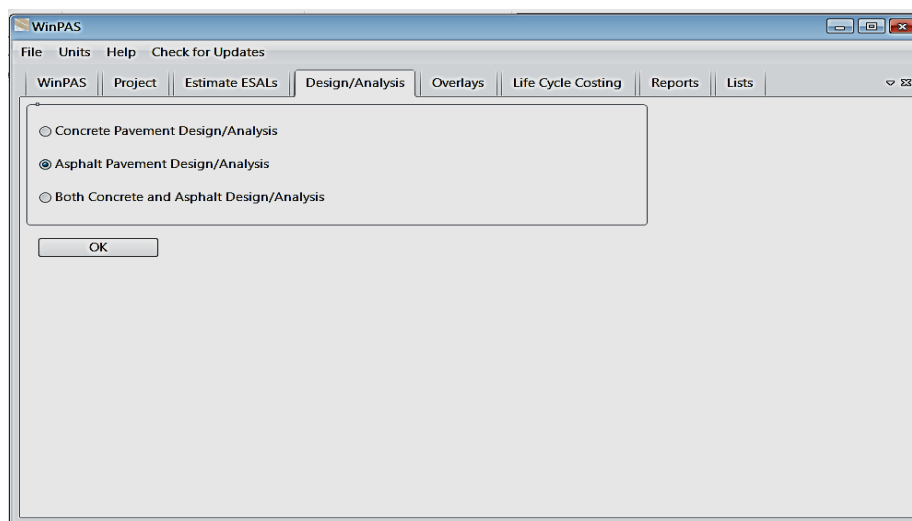
Imagen 2. Software de diseño WinPAS.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

El primer paso es seleccionar la pestaña de diseño/evaluaciones, donde se nos abrirá una nueva ventana que nos mostrará tres opciones de diseño, donde en este caso se tendrá que elegir la opción 2 de diseño/evaluaciones de pavimento asfáltico.

Imagen 3. Selección del Tipo de Pavimento a diseñar.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12).

Luego se abrirá otra ventana que es donde se deben introducir los datos iniciales para el diseño:

Tabla 38. Resumen de datos para calcular espesores en el programa WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Consideraciones del Diseño AASHTO 93	Valores a utilizar
ESAL de diseño	873,114.00
Confiabilidad	80%
Valor desviador (Z_r)	-0.841
Desviación Estándar (S_o)	0.45
Módulo de Resiliencia Subrasante	13,200 psi
Serviciabilidad inicial (P_o)	4.2
Serviciabilidad Final (P_t)	2.0
ΔPSI	2.2
Coeficiente de drenaje (m_i)	1.00
Coeficiente de capa, Adoquín (a_1)	0.45
Coeficiente de capa, Base (a_2) y Subbase (a_3)	0.129

Fuente: Elaboración propia

Imagen 4. Introducción de Datos en WinPAS.

WinPAS

File Units Help

WinPAS Project

Concrete Pavement

Asphalt Pavement

Both Concrete and Asphalt

OK

Asphalt Design Inputs

Asphalt Pavement Design/Analysis Inputs

Asphalt Structural Number 2.50

Calculate Asphalt Structural Number

Total Flexible ESALS 873,114

Reliability 80.00 %

Overall Standard Deviation 0.45

Subgrade Resilient Modulus 13,200.0 psi

Initial Serviceability 4.20

Terminal Serviceability 2.00

Save and Close

Help

Asphalt Pavement Design/Analysis

Terminal Serviceability: 2.20

Solve For

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12)

Después de haber dado click en la pestaña *resolver* (*Solve for*) Según el software WinPAS se requiere un **SN=2.50**

Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1 y a_2), los coeficientes de drenaje (m_1 y m_2), y por último los espesores (D_1 Y D_2). Se puede observar que, al proponer los espesores calculados manualmente, estos cumplen, ya que **Σ SN=2.57**, es mayor que el **SN requerido=2.50**

CAPÍTULO VI

DISEÑO GEOMÉTRICO VÍAL

6.1. Diseño Geométrico vial

El Diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En ese sentido, la carretera queda geoméricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal. (**ver anexos Planos del Proyecto**)

6.1.1. Metodología.

En ese sentido el trazado debe reunir determinadas características en sus alineamientos y pendientes, y para ello deberán establecerse desde un principio los radios de curvatura mínimo y las pendientes máximas que pueden emplearse.

Los criterios que aquí se establecen son específicos y por lo tanto no deben aplicarse mecánicamente. Se refieren específicamente al trazado geométrico en armonía con estado natural del terreno que atraviesa la carretera. Como resultado de la aplicación de estos criterios, pueda que el costo inicial de la obra no sea el mínimo posible, pero en definitiva la obra, incluyendo su mantenimiento, el costo de su uso, que el número de accidentes sea el mínimo con un mínimo de pérdida de vidas humanas y materiales, será una obra más económica y con un rendimiento máximo, en función del logro de estos objetivos, estarán dados los siguientes criterios

Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial

CivilCad es un software profesional usado especialmente en el diseño de vías terrestres, fraccionamientos y terracerías, se usa sobre AutoCAD, siendo éste una herramienta del mismo. El programa trabaja con normas de la Secretaría de Comunicación y Transporte de México (SCT) cuyas normas son muy similares a las del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

Entre las funciones más importantes que realiza CivilCad tenemos:

- ✓ Edición de puntos.
- ✓ Edición de triangulaciones

- ✓ Trazado de curvas horizontales
- ✓ Trazado de curvas verticales
- ✓ Diseño de taludes con bermas
- ✓ Determinación de volúmenes entre secciones
- ✓ Obtención del diagrama de curva de masas

6.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico.

Normas de diseño: las normas de diseño a ser implementadas serán las contenidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA, 2da Edición 2004) o en su defecto la Guía de Diseño Geométrico de A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004, AASHTO.

Aspectos relevantes para el diseño de pavimentos

- 1.- Ninguna norma debe sustituir el buen criterio y juicio explícito del diseñador.
- 2.- El mejor diseño geométrico de una carretera puede ser rechazado si, en el análisis de sus elementos justificativos, no se incorporan uniformemente los componentes ambientales de su impacto en el medio natural y social.
- 3.- Las normas de diseño no deben ser una camisa de fuerza, únicamente deben ser utilizadas como una guía sólida y técnicamente aceptable sobre las soluciones más deseables para el diseño geométrico.
- 4.- El buen funcionamiento de la red vial es crucial para el desarrollo seguro y eficiente de las actividades socio - económicas.

5.- El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, evitar los cambios considerables en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio.

6.- En el diseño debe presentarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y motociclistas que circulan por la carretera.

7.- En el diseño del pavimento de las carreteras es esencial facilitar la efectiva interacción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos para el control y el frenado de estos.

Para obtener las condiciones adecuada en el diseño a realizar se tomará en consideración los siguientes aspectos:

- Tipo de área: urbano o rural
- Condiciones de terreno: Plano, ondulado o montañoso
- Volumen de tránsito Liviano o pesado
- Condiciones ambientales
- Consistencias en el diseño de carreteras similares

Tabla 39. Resumen de los criterios de diseño

TIPO DE TERRENO	Porcentajes de pendiente máxima						
	Velocidades de diseño, en KPH						
	50	60	70	80	90	100	110
LLANO	6%	5%		4%		3%	
ONDULADO	7%	6%	5%	5%	4%	4%	4%
MONTAÑOSO	9%	8%	7%	7%	6%	5%	5%

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004

6.2.1. Elementos geométricos de una curva horizontal

PI: Es el punto donde se interceptan las dos tangentes horizontales.

PC: Es el punto de tangencia entre la tangente horizontal y la curva al comienzo de esta.

PT: Es el punto de tangencia entre la tangente y la curva al final de esta.

PM: Punto medio de la curva horizontal.

PSC: Indica un punto sobre la curva.

6.2.2. Puntos geométricos

R: Es el radio de la circunferencia en la que la curva es un segmento de esta, de ahí que la curva horizontal es una *curva circular*.

Te: Tangente de la curva, es el segmento de recta que existe entre el PI y el PC y también entre PI y PT.

CM: Cuerda Máxima, es el segmento de recta que une al PC con el PT.

LC: Longitud del arco comprendido entre PC y el PT. Se conoce también como desarrollo (D).

M: Ordenada a la curva desde el centro de la cuerda máxima.

Ec: Distancia desde el centro de la curva al punto de Inflexión.

Δ : Ángulo de inflexión o de deflexión formado por las tangentes al interceptarse en el PI.

[illegible]

6.2.3. Tipos de curvas horizontales

6.2.4. Curvas de transición.

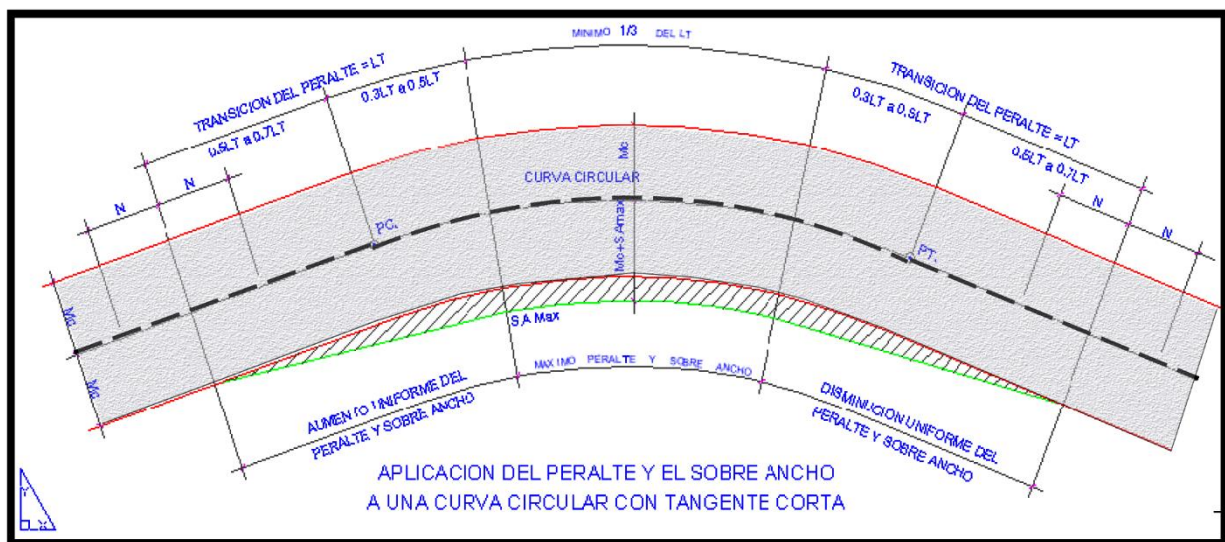
pág. 67

6.2.5. Diseño de la curva de transición.

6.2.6. Sobre ancho.

Es el ancho que se adiciona en el extremo interior de la calzada en una curva horizontal, la cual facilita a los conductores mantenerse dentro de su vía. Una de las razones por la cual se hace necesario diseñar el sobre ancho, es que las ruedas traseras de un vehículo describen una trayectoria más corta que las delanteras cuando se recorre una curva.

Imagen 6. Sobre ancho en la curva circular



pág. 68

6.2.7. Radios mínimos y grados máximos de curvas.

Según las NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERAS REGIONALES, en su sección 4-39, los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento.

El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobreelevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula indicada en sección 4.39 de la SIECA,

$$R = \frac{V^2}{(127(e + f))}$$

Donde:

R = Radio mínimo de curva, en metros

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal

f = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora

Tabla 39. Distancias mínimas para carreteras rurales de dos carriles

VELOCIDAD DE DISEÑO	VELOCIDADES KM/H		DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (M)
	VEHÍCULO QUE ES REBASADO	VEHÍCULO QUE REBASA	
30KPH	29	44	220
40KPH	36	51	285
50KPH	44	59	345
60KPH	51	66	410
70KPH	59	74	480
80KPH	65	80	540
90KPH	73	88	605
100KPH	79	94	670
110KPH	85	100	730

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004

6.3. Distancias de visibilidad en carreteras.

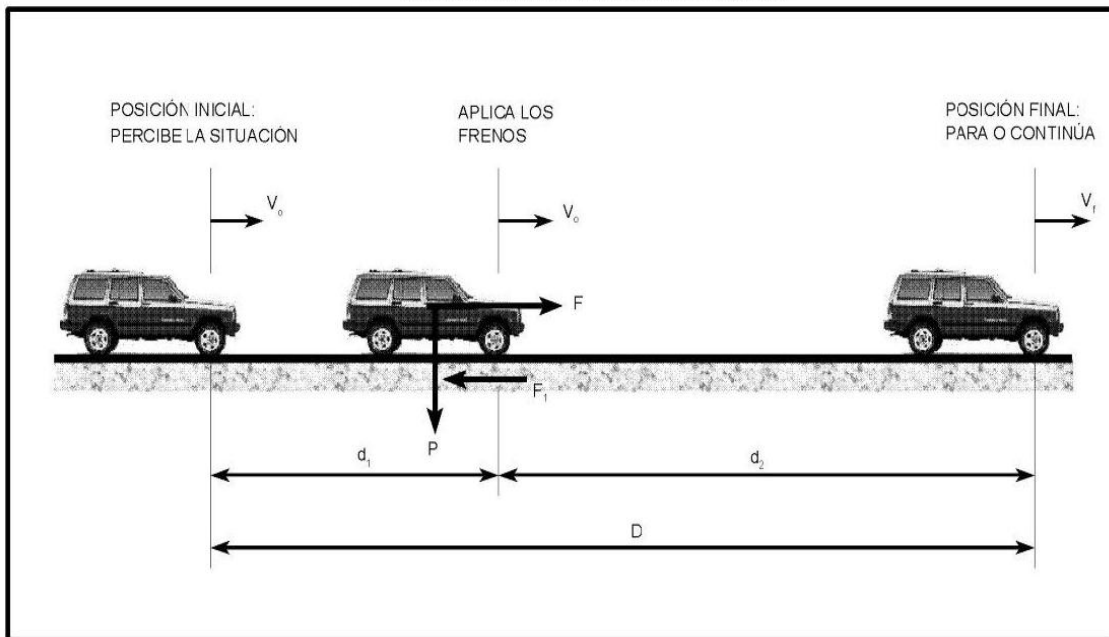
6.3.1. Distancia de visibilidad.

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo. **(Ver imagen 7, pág. 64)**

Las tres consideraciones más importantes en la distancia de visibilidad para el diseño de vías son:

1. Distancia de visibilidad de parada.
2. Distancia de visibilidad de rebase
3. Distancia de visibilidad en intersecciones.

Imagen 7. Distancia de visibilidad de parada.



Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, Cap. 4

6.3.2. Distancia de visibilidad de parada.

Es la distancia mínima que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera. Esta debe ser provista continuamente en toda la vía. Los camiones usualmente requieren distancias de visibilidad de parada más largas para una velocidad dada que los vehículos de pasajeros, pero debido a la mayor altura del ojo y bajas velocidades de los camiones, la misma distancia es aplicable.

6.3.3. Distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.

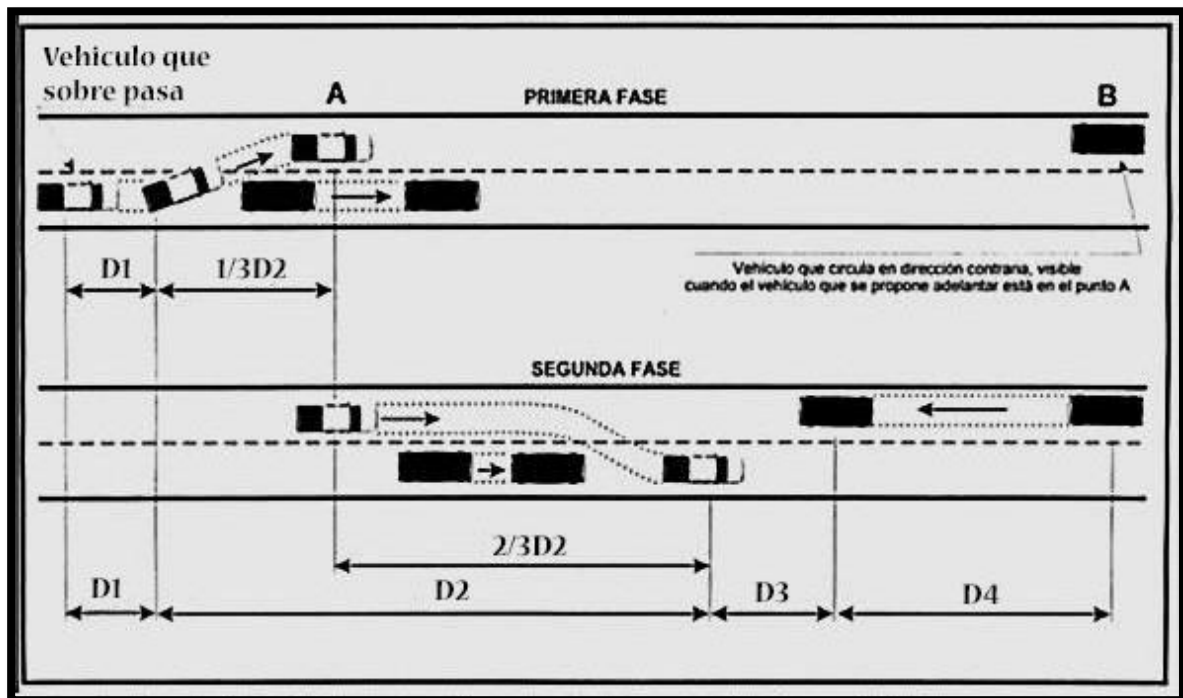
La distancia de visibilidad de adelantamiento se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento.

El conductor puede retornar a su carril si percibe, por la proximidad del vehículo opuesto, que no alcanza a realizar la maniobra completa de adelantamiento.

Se hacen los siguientes supuestos simplificados para los propósitos del dimensionamiento de dicha distancia de visibilidad de adelantamiento:

- El vehículo que es rebasado viaja a una velocidad uniforme.
- El vehículo que rebasa viaja a esta velocidad uniforme, mientras espera una oportunidad para rebasar.
- Se toma en cuenta el tiempo de percepción y reacción del conductor que realiza las maniobras de adelantamiento.
- Cuando el conductor está rebasando, acelera hasta alcanzar un promedio de velocidad de 15 kilómetros por hora más rápido que el otro vehículo que está siendo rebasado.
- Debe existir una distancia de seguridad entre el vehículo que se aproxima en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de adelantamiento.
- El vehículo que viaja en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de rebase van a la misma velocidad promedio.
- Solamente un vehículo es rebasado en cada maniobra.
- La velocidad del vehículo que es rebasado es la velocidad de marcha promedio a la capacidad de diseño de la vía.
- Esta distancia de visibilidad para adelantamiento se diseña para carreteras de dos carriles de circulación, ya que esta situación no se presenta en carreteras divididas y no divididas de carriles múltiples. La distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas que se muestran en la **(imagen 8, pág. 66)**. Cada una se determina de acuerdo con las siguientes descripciones.

Imagen 8. Distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles



Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, Cap. 4

6.3.4. Criterios para medir la distancia visual.

Altura del ojo del conductor

Experiencias y estudios realizados han confirmado que desde 1960, la altura promedio de los automóviles, por el efecto del mayor uso de vehículos compactos, ha decrecido en 66 milímetros, que se correlaciona bien con una reducción de 53 milímetros en la altura promedio del ojo del conductor. Como resultado, la altura promedio del ojo del conductor ha sido reducida de 1,140 a 1,070 milímetros, cambio que ha tenido como efecto el alargamiento de la distancia mínima de visibilidad en aproximadamente un 5 por ciento en una curva vertical en cresta. Para camiones grandes, la altura del ojo del conductor está situada entre 1.8 y 2.4 metros, con esta última dimensión como la más frecuente y utilizable en el diseño.

Tabla 40. Distancia de visibilidad adelantamiento según AASHTO

Vel de proyecto KPH	Vel de marcha KPH	Reacción.		Coef. de Fricción Longitudinal* fl.	Dist.de Frenado (m)	Distancia de visibilidad (m)	
		t (seg)	d (m)			Calculado	Red.
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	25
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	47	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	90
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.88	0.295	112.95	176.83	175

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pág. 131

6.4. Justificación de los Parámetros de diseño

El primer paso, en la realización de los estudios de carreteras es establecer una clasificación, que permita reunir grupos de carreteras de características similares.

La clasificación funcional de las vías agrupa a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar y tiene estrecha relación con la estructura y categorización de los viajes.

De acuerdo con la clasificación de las carreteras regionales del Manual Centroamericano de Normas (SIECA), y basados en el TPDA (653 vpd) el tramo de carretera en estudio se denomina **Colectora Rural**.

6.4.1. Velocidad de diseño

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe de darse especial consideración a los siguientes aspectos:

Tipo de área

- Rural
- Urbana

Condiciones del terreno

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

Las normas SIECA establecen para este tipo de caminos una velocidad de diseño de 60. K.P.H. Dado que la configuración topográfica de la vía la ubica en una zona de terreno llano con pendientes máximas y menores a 5 %, **ver Tabla No. 41**. En el cruce por las zonas pobladas la velocidad de diseño a implementar es de 30 k.p.h.

Tabla 41. Pendientes máximas para caminos rurales según AASHTO

Tipo de terreno	Pendientes máximas (%) para velocidades de diseño (Km/h)							
	60	70	80	90	100	110	120	130
Llano	5	5	4	4	3	3	3	3
Ondulado	6	6	5	5	4	4	4	4
Montañoso	8	7	7	6	6	5	5	5

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pág. 450*

Normas de Proyecto para implementar según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004) en su defecto la Guía de Diseño Geométrico AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highway and Streets, Quinta Edición 2004)

Tabla 44. Normas para el diseño geométrico

Nº	DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.	FORMA	UNIDAD.	VALORES.
1	Clasificación Funcional.	Colectora Rural		
2	Ancho del Derecho de Vía.	ADV	mt.	20.00
3	Velocidad de Diseño.	VD	KPH	60.00
4	Velocidad de Ruedo.	VR	KPH	55.00
5	Vehículo de Proyecto.	Veh.	Tipo.	C2-Bus
6	Radio de Curvatura Mínimo.	R	mt.	141.73
7	Grado de Curvatura Máximo.	GC	G. Min. Seg.	8°5'6.84"
8	Número de Carriles de Rodamiento.	Nc	Unid.	2.00
9	Ancho Carril de Rodamiento.	AC	mt.	3.00
10	Ancho Total de Rodamiento.	AR	mt.	6.00
11	Ancho de Hombros.	Hm	mt.	1.00
12	Ancho de Corona.	AC	mt.	8.00
13	Pendiente Transversal.(Bombeo)	B	%	3.00
14	Pendiente del Hombro.	Hm%	%	3.00
15	Sobreelevación Máxima (Peralte).	emax.	%	5.00
16	Pendiente Longitudinal Máxima.	Pend%	%	5.00
17	Sobre ancho Mínimo en Curvas Horiz.	<i>Smin</i>	mt.	0.60
18	Coeficiente de Fricción Lateral.	<i>f1</i>	S/U	0.15
19	Coeficiente de Fricción Longitudinal.	<i>f2</i>	S/U	0.33
20	Longitud Mínima de Curva Vertical.	CVmin	mt.	50.00
21	Distancia de Visibilidad de Parada (min)	DVP	mt.	75.00(*)
22	Distancia de Visibilidad de Rebase.	DVR	mt.	410.00
23	Distancia de Visibilidad Curv. Horiz.	DVCH	mt.	*
24	Superficie-carpeta de Rodamiento.	Srod.	Tipo.	Adoquín de Concreto.
25	Carga de Diseño.	Cd		HS-20-44+25%

Se diseñara para cada curva.

6.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.

✚ Radio mínimo del proyecto

Coeficiente de fricción

Velocidad de diseño 60 kph

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - 0.01e$$

Peralte máximo e= 5%

Factor de fricción máxima f=0.15

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 * (e + f)}$$

$$R_{min} = \frac{(60kph)^2}{127 * (0.05 + 0.15)}$$

$$R_{min} = 141.73 \text{ m}$$

✚ Grado máximo de curvatura del proyecto

$$G_{max} = \frac{1,145.92}{R_{min}}$$

$$G_{max} = \frac{1,145.92}{141.73m}$$

$$G_{max} = 8^{\circ} 5' 6.84''$$

6.5.1. Diseño de curvas horizontales

Datos de la curva C-1	
Angulo de deflexion Δ	26° 12' 34.74" izq
Coeficiente friccion lateral	f= 0.15
Peralte maximo	e= 4.70%
Grado de curvatura G°c	8° 0' 0.00"
Velocidad de Diseño	V=60 kph
Estacionamiento EST. PI	0+120.30

Fuente: Elaboración propia

1. Cálculo del radio de diseño de la curva circular

$$R = \frac{1,145.92}{G^{\circ}c}$$

$$R = \frac{1,145.92}{8^{\circ}}$$

$$R = 143.24m$$

2. Cálculo de la Sub tangente.

$$ST = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$ST = 143.24 * \tan\left(\frac{26^{\circ}12'34.74''}{2}\right)$$

$$ST = 33.346m$$

3. Cálculo de longitud de la curva de diseño

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

$$Lc = \frac{3.1416 * 143.24 * 26^{\circ}12'34.74''}{180}$$

$$Lc = 65.524m$$

4. Cálculo del estacionamiento para el PC y PT

$$Est. PC = Est. PI - ST$$

$$Est. PC = 0 + 120.30 - 33.346m$$

$$Est. PC = 0 + 086.95$$

$$Est. PT = Est. PC + Lc$$

$$Est. PT = 0 + 086.95 + 65.524m$$

$$Est. PT = 0 + 152.48$$

5. Cálculo de la cuerda Máxima

$$C_{max} = 2(R * \text{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right))$$

$$CM = 2(143.24 * \text{sen}\left(\frac{26^{\circ}12'34.74''}{2}\right))$$

$$C_{max} = 64.954 \text{ m}$$

6. Cálculo de la Externa

$$Ec = R * \left(\frac{1}{\cos \frac{\Delta}{2}} - 1 \right)$$

$$Ec = 143.24 * \left(\frac{1}{\cos \frac{26^{\circ}12'34.74''}{2}} - 1 \right)$$

$$Ec = 3.83 \text{ m}$$

7. Cálculo de la ordenada Media

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$$

$$M = 143.24 * \left(1 - \cos \frac{26^{\circ}12'34.74''}{2} \right)$$

$$M = 3.73 \text{ m}$$

6.6. Diseño del alineamiento vertical.

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona, al cual se le llama línea subrasante. El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas. La posición de la subrasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada. (Fonseca Rodríguez, 2010). Las curvas verticales en los cambios de rasante son generalmente arcos de parábola. Todas las distancias en las curvas se miden horizontalmente, es decir su largo se mide en el eje X y su elevación en el eje Y.

6.6.1. Generalidades.

Las curvas verticales que unen las rasantes tienen por objeto suavizar los cambios en el movimiento vertical contribuyendo a la seguridad, comodidad, confort y aspecto, de un modo tan importante como las curvas horizontales. Todas las distancias en las curvas verticales se miden horizontalmente, y todas las ordenadas desde las tangentes a la curva se miden verticalmente.

Tal y como se describe anteriormente (Jhon Agudelo Ospina, 2002) el alineamiento vertical de una vía compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil. La rasante a su vez está compuesta por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre sí por curvas. La longitud de todos los elementos del alineamiento vertical se considera sobre la proyección horizontal, es decir, en ningún momento se consideran distancias inclinadas.

Según las Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2004) el alineamiento vertical de una carretera está ligada estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes.

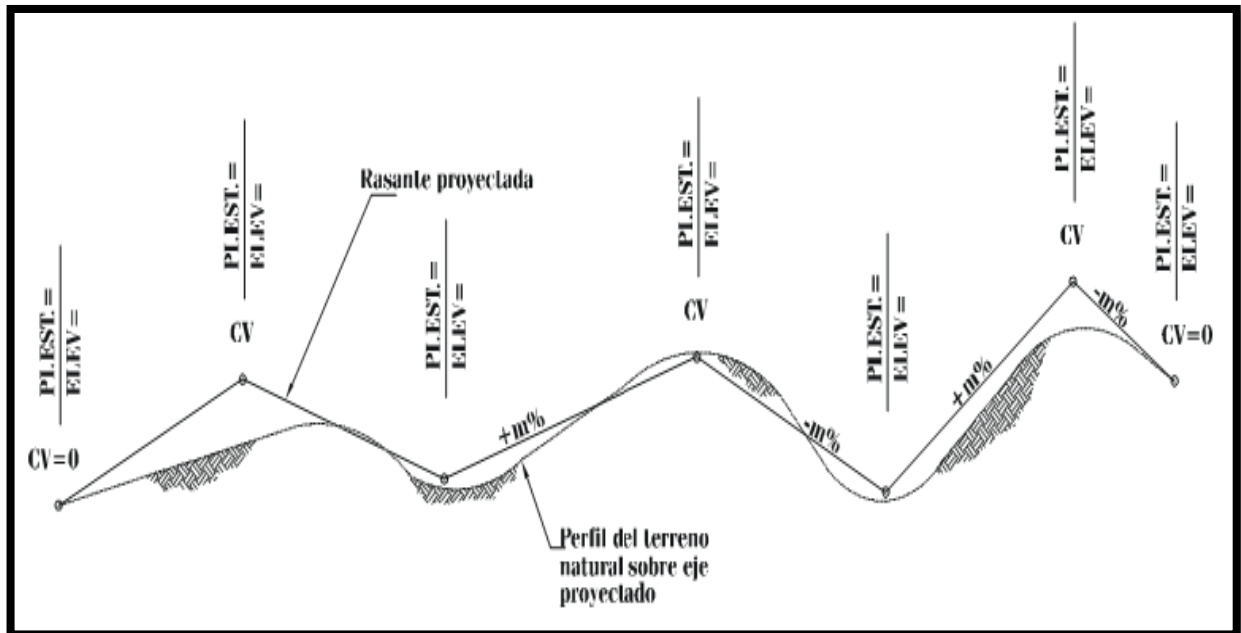
Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los factores visibilidad y accidentalidad, composición del tránsito, así como la relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

6.6.2. Rasante y pendientes.

En los levantamientos longitudinales, principalmente de carreteras se llama rasante la pendiente regular de una línea, tanto si es ascendente, como si es descendente, se expresa generalmente en %.

La fijación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada por esta, pero deben considerarse también otros factores como características del alineamiento horizontal, seguridad, Visibilidad, rendimiento de los vehículos pesados con pendiente, velocidad del proyecto, costo de construcción y topografía del terreno.

Imagen 9. Rasante proyectada sobre perfil del terreno natural



En la figura anterior se presenta en esquema del resultado de la rasante proyectada sobre el perfil del terreno del eje del camino en su forma característica, conteniendo los elementos y datos típicos, tales como; datos de los PI verticales correspondientes a elevación y estación, curva vertical, así como la pendiente de los segmentos, expresando sus valores en % y el sentido, ascendente (+) y descendente (-).

La pendiente influye sobre el costo del transporte, porque al aumentar ella se incrementa el tiempo de recorrido del vehículo y esto genera un mayor consumo de combustible, aceite y otros. Por otro lado, disminuye la capacidad de la vía, esto cobra importancia cuando hay un alto porcentaje de camiones.

Al tratar de disminuir las pendientes generalmente aumentan los volúmenes de excavación con un consecuente aumento en los costos.

Para hacer una elección óptima de la pendiente a utilizar, hay que hacer un balance entre costos de construcción y explotación

La pendiente de cada segmento se calcula de la siguiente manera: (m)

$$m = \frac{\text{Elev. 2} - \text{Elev. 1}}{\text{Est. 2} - \text{Est. 1}} * 100$$

Para facilidad de cálculo, se utiliza la pendiente en valores m/m, a manera de un factor de lo que sube (-) o baja (-) por metro, para posteriormente calcular a la distancia horizontal que se requiera.

6.6.3. Tipos de curvas verticales.

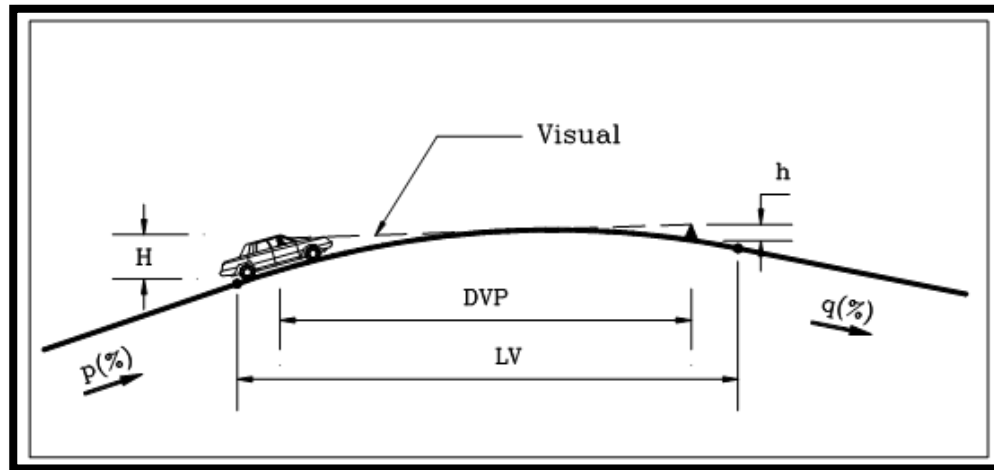
Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Se deberá de tratar el empleo de una pendiente uniforme durante el cambio de una pendiente a otra. Si a la diferencia algebraica de las pendientes es menor de 0.5 % no es necesario su empleo.

Existen básicamente dos tipos de curvas verticales: en cresta o convexas y en columpio o cóncavas (Las primeras son cóncavas hacia abajo y las segundas hacia arriba). Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia

de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

6.6.4. Longitud de curva cuando esta es mayor que la distancia de visibilidad

Cuando $L > DVP$, la expresión matemática es la siguiente:



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 386

$$DVP = S, LV = L$$

En el primer caso $L > DVP$

Se aplica la siguiente expresión para calcular la longitud mínima (L) de curva vertical:

$$L = \frac{G * DVP^2}{200 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Donde:

G : Diferencia algebraica de pendientes (%)

DVP : Distancia de visibilidad

h_1 : Altura del ojo del conductor

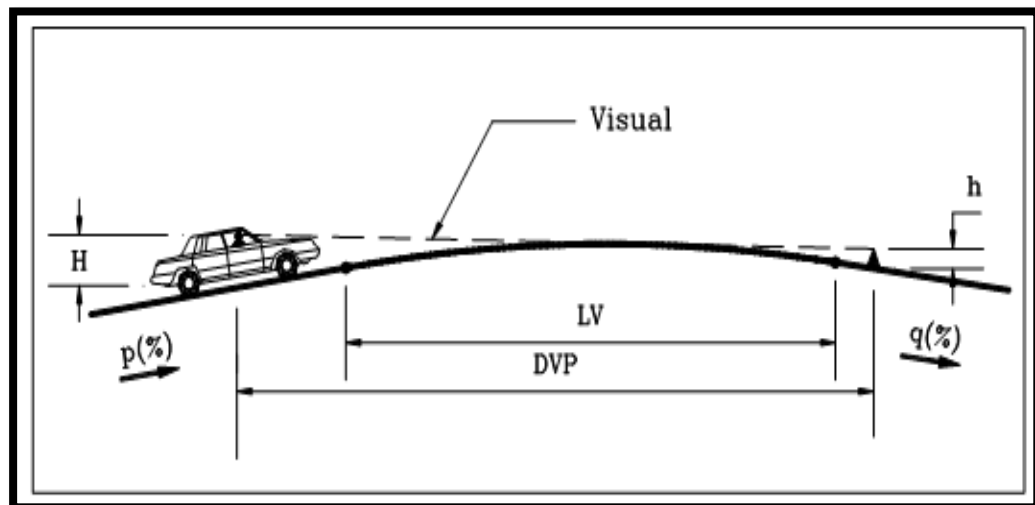
h_2 : Altura del objeto

Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor $h_1 = 1.14$ metros y del objeto $h_2 = 0.15$ metros. La ecuación para diseño para la longitud mínima de la curva vertical es la siguiente:

$$L = \frac{G * DVP^2}{404}$$

6.6.5. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.

Cuando $L < DVP$, la expresión matemática es la siguiente:



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 384. $DPV = S$, $LV = L$

$$L = \frac{2s - 404}{G}$$

Se puede observar en la expresión $L = 2S - 404/G$, para valores pequeños de G y S la longitud es negativa mientras que, para la segunda, $L = GS^2/404$, siempre serán positivos y si además se realiza una tabla de valores de LV para las diferentes velocidades y diferentes valores de A los resultados obtenidos con la segunda expresión siempre serán mayores. Con lo anterior se puede concluir que la expresión para $S < L$ es la que se debe emplear.

L puede ser relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K, que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$L = K.G$ en esta lógica de simplificación, si la fórmula de cálculo es $L = GS^2 / 404$ el valor de K sería $K = S^2 / 404$ y así sucesivamente para las demás ecuaciones.

De esta ecuación $G = L/K$

Las distancias de parada y adelantamiento se pueden obtener de las secciones 4-68 y 4-69 de la SIECA. Las distancias mínimas de visibilidad para adelantamiento están presentes en el cuadro 4.7, que en conjunto con los correspondientes a las de visibilidad de parada del cuadro 4.6, se han utilizado para preparar el cuadro 4.21, que presenta los valores de K para el cálculo de las longitudes de curvas verticales en cresta para diferentes velocidades de diseño.

Tabla 42. Valores de K para curvas verticales.

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G*	Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)*
30	30-30	30-30	3-3	217
40	40-40	45-45	5-5	285
50	47-50	60-65	9-10	345
60	55-60	75-85	14-18	407
70	67-70	95-110	22-31	482
80	70-80	115-140	32-49	541
90	77-90	130-170	43-71	605
100	85-100	160-205	62-105	670
110	91-110	180-245	80-151	728

* Valores redondeados

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004

Según SIECA en su sección 4-66, Cuando se utiliza la distancia de visibilidad de adelantamiento como criterio de control para el diseño, las longitudes de las curvas verticales en cresta resultan mayores que las calculadas

utilizando las expresiones arriba indicadas, lo que hace pensar que diseñar para estas longitudes, conduce a una considerable elevación de los costos de construcción; además, que para recomendar estas distancias, debe haber una combinación favorable entre topografía del terreno, seguridad y volúmenes de tránsito, que dé como resultado su plena justificación.

6.6.6. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.

(Jhon Agudelo Ospina, 2002) indica que el análisis para la curva vertical cóncava o en columpio se realiza teniendo en cuenta la visibilidad nocturna donde la iluminación producida por las luces delanteras del vehículo juega un papel importante. La visibilidad diurna no representa ningún problema ya que todo conductor ubicado dentro de una curva vertical cóncava siempre tendrá la visibilidad necesaria para su seguridad a menos que dentro de la curva vertical este ubicada una curva horizontal.

En vías urbanas donde existe iluminación artificial la longitud mínima de la curva vertical se rige más bien por la comodidad en la marcha y la estética.

Según SIECA en su sección 4-69 para el diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- El primero y a emplear en diseño, se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo o de seguridad. Este se aplica en curvas de cresta y columpio la longitud de la curva debe ser tal, que toda la curva de distancia de visibilidad (L) es la longitud mínima de la curva en m y la V velocidad de proyecto en km/h .
- La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

Las expresiones que se obtienen a continuación son para la distancia de visibilidad de parada ya que, para la distancia de visibilidad de adelantamiento, no se requiere cálculo, ya que es posible observar las luces del vehículo que se desplaza en sentido contrario.

Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical. Se tiene La Imagen 10 donde aparecen los siguientes elementos:

L: Longitud curva vertical en metros

DVP: Distancia de visibilidad de parada requerida en metros

P: Pendiente inicial en porcentaje

q: Pendiente final en porcentaje

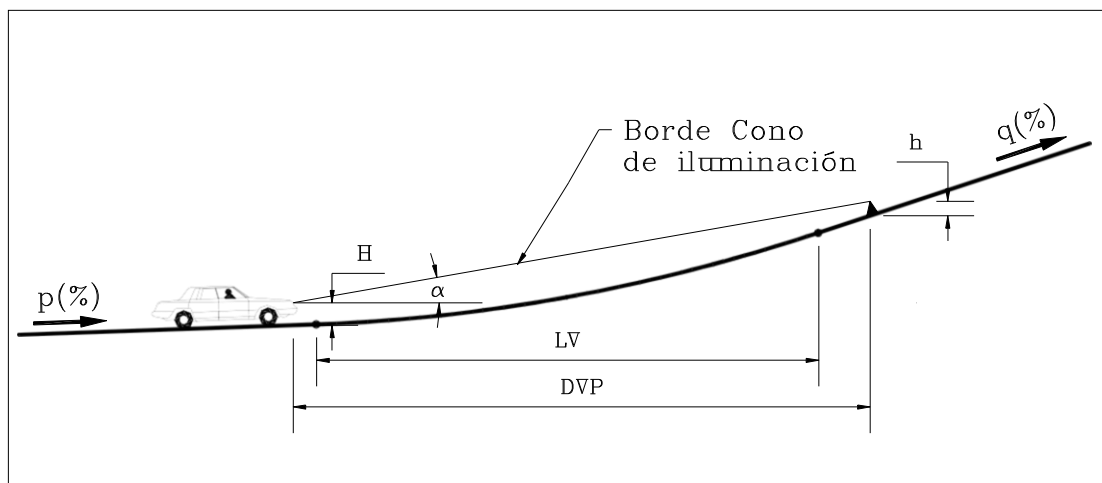
G: Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje

H: Altura de las luces delanteras del vehículo = 0.60 m

h: Altura del obstáculo = 0.15 m

α : Angulo formado por el borde del cono de iluminación y el eje prolongado del faro = 1°

Imagen 10. Visibilidad en curva vertical cóncava con $DVP > L_v$



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 384. $DPV = S$, $LV = L$

La expresión obtenida para la longitud vertical es la siguiente:

$$L = \frac{G * DVP^2}{120 + 3.5 * DVP}$$

6.7. Elementos de la curva vertical.

En la **Imagen 11**, se indican los diferentes elementos que conforman una curva vertical

PCV: Principio de curva vertical.

PIV: Punto de intersección vertical

PTV: Principio de tangente vertical. Final de la curva vertical

E: Externa. Distancia vertical entre el PIV y la curva.

L: Longitud de curva vertical

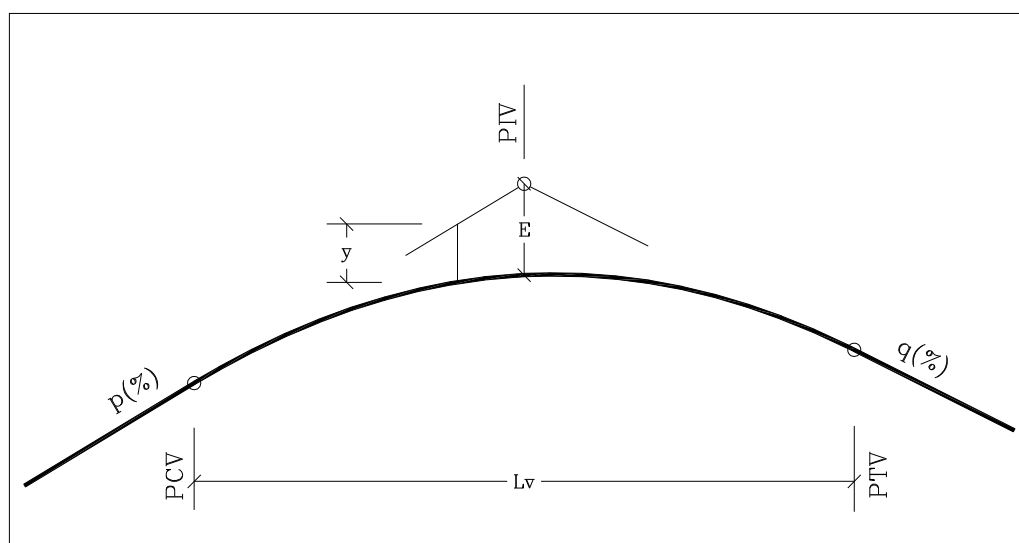
p(%): Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.

q(%): Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.

Y: Corrección vertical

G: Diferencia algebraica de pendientes = q - p

Imagen 11. Elementos de una curva vertical



Fuente: *Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 402.*

En general las curvas son básicamente parábolas cóncavas hacia arriba o hacia abajo. En nuestra jerga les llamamos crestas hacia arriba o en columpio hacia abajo. Podrán simétricas o asimétricas. (Simétrica indica que la longitud de la curva está repartida en partes iguales).

Para elaborar la tabla de replanteo (replanteo es la ubicación en campo de los datos diseñados), se puede hacer de tres maneras:

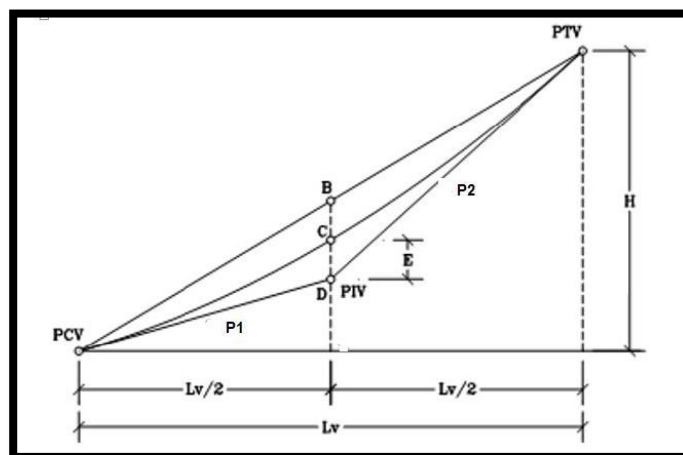
1. La primera desde el PCV hasta el PTV
2. La segunda desde el PCV hasta el PIV y luego del PTV al PIV.
3. La tercera desde el PTV al PCV.

De los anteriores el más lógico y común es el segundo dado que representa elevaciones sobre las tangentes reales. El primero y el tercer método descrito solamente hasta la mitad son elevaciones reales sobre la tangente y el resto son ficticias.

6.7.1. Curvas verticales simétricas.

La curva esta partida en dos. Se denomina curva vertical simétrica aquella donde la proyección horizontal de la distancia PCV – PIV es igual a la proyección horizontal de la distancia PIV – PTV.

Imagen 12. Elementos de una curva vertical simétrica



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina, pág. 406

Ecuaciones para el cálculo de los estacionamientos

$$Est. PCV = Est. PIV - \frac{L}{2}$$

$$Est. PTV = Est. PIV + \frac{L}{2}$$

Ecuación para el cálculo de la externa

$$E = \frac{G * L}{8}$$

$$E = \frac{(P2 - P1) * L}{800}$$

si P1 y P2 estan en porcentajes

Ecuaciones para el cálculo de las elevaciones de los estacionamientos

$$Elev. PCV = Elev. PIV \pm P1 \left(\frac{L}{2} \right)$$

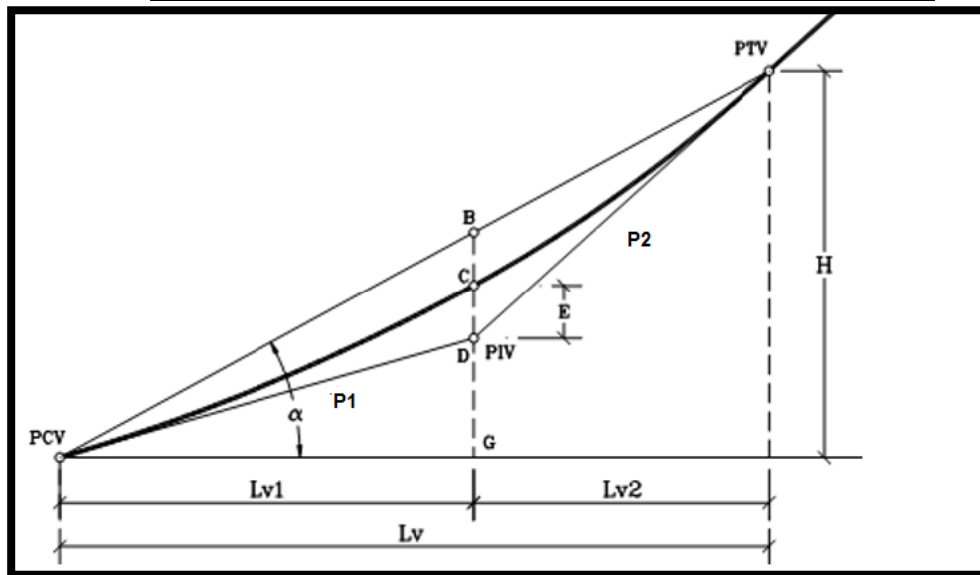
$$Elev. PTV = Elev. PIV \pm P2 \left(\frac{L}{2} \right)$$

6.7.2. Curvas verticales asimétricas.

La curva vertical asimétrica es aquella donde las proyecciones de las dos tangentes de la curva son de diferente longitud. En otras palabras, es la curva vertical donde la proyección horizontal de la distancia PCV a PIV es diferente a la proyección horizontal de la distancia PIV a PTV.

Este tipo de curva es utilizado cuando alguna de las tangentes de la curva está restringida por algún motivo o requiere que la curva se ajuste a una superficie existente, que solo la curva asimétrica podría satisfacer esta necesidad. La longitud total de la curva será $L1 + L2$ y se trabaja cada longitud independiente.

Imagen 13. Elementos de una curva vertical asimétrica



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina, pág. 410.

Cuando se emplean curvas asimétricas se recomienda, principalmente por estética, que se cumpla la relación $L_{\text{mayor}} / L_{\text{menor}} < 1.5$ (OSPINA, 2002)

$E = (Lv_1 * Lv_2 * G) / 2 Lv$, donde G es la diferencia algebraica de pendientes en porcentajes.

6.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.

Para el alineamiento vertical es importante aclarar que la subrasante es la línea que hay que tomar como referencia. La posición de esta va a depender de diversos factores como:

1. La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. En terrenos planos la altura de la subrasante será regulada generalmente por el drenaje. En lomerío se adoptan subrasantes onduladas, mientras que, en terrenos montañosos, estará regida por la topografía.

2. Se debe buscar una subrasante suave con cambios graduales. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica.
3. Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas pues no representa un perfil seguro. Así mismo no se debe colocar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección.
4. Es preferible tener un perfil escalonado a una pendiente sostenida, ya que de esta manera se controla más la velocidad.
5. Cuando la magnitud del desnivel motiva largas pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal.
6. Se deben considerar carriles auxiliares de ascenso donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente en el caso de caminos de dos carriles, y del 30% en el de varios carriles.
7. Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.
8. Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección.

6.8.1. Criterios para el diseño vertical según AASHTO.

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

6.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.

Tabla 43. Coeficientes de fricción longitudinal.

Velocidad de diseño	Coeficiente de fricción Long.
Km/h	f
30	0.40
40	0.38
50	0.35
60	0.33
70	0.31
80	0.30
90	0.30
100	0.29
110	0.28

Fuente: *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004*

6.9.1. Diseño de curvas verticales.

Tabla 44. Datos para diseño de curva vertical

Curva Vertical CV-1	
Pendiente entrada P_i %	- 3.359
Pendiente salida P_s %	-1.761
Coeficiente fricción longitudinal	0.33
Velocidad de Diseño	60kph
Estacionamiento EST.PIV	0+391.99
Estacionamiento ELEV. PIV	1084.78

Fuente: Elaboración propia

1. Diferencia algebraica de las pendientes

$$G = (-1.761) - (-3.359)$$

$$G = 1.598 \%$$

2. Cálculo de la distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, d_1 , se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$D1 = 0.278 * V * t$$

Donde: v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

t = Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 seg.

$$D1 = 0.278 * 60 \text{ kph} * 2.5 \text{ seg.}$$

La distancia de frenado, D_2 , se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$D2 = \frac{V^2}{254 * (f + G)}$$

Donde:

v = velocidad inicial, 60 kilómetros por hora

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento
(f=0.33)

G= diferencia algebraica de las pendientes

$$DVP = D1 + D2$$

$$DVP = (0.278 * 60kph * 2.5seg) + \frac{(60kph)^2}{254 * (0.33 + 0.01598)}$$

$$DVP = 82.66 \text{ m}$$

3. Cálculo de la longitud mínima de la curva vertical

$$Lv = K * G$$

$$Lv = 18 * 1.598$$

$$Lv = 28.764$$

K: factor tomado de la tabla 42, pág. 78

G: Diferencia algebraica de las pendientes

Se propone una longitud de curva de 30 m

$$DVP = 82.66 \text{ m}$$

>

$$Lv = 28.764 \text{ m}$$

4. Cálculo de los estacionamientos

Est. PIV= 0+391.99

$$EST.PCV = Est.PIV - \frac{L}{2}$$

$$EST.PTV = Est.PIV + \frac{L}{2}$$

$$EST.PCV = 0 + 391.99 - \frac{30}{2}$$

$$EST.PCV = 0+376.99$$

$$EST.PTV = 0 + 391.99 + \frac{30}{2}$$

$$EST.PTV = 0+406.99$$

5. Cálculo de las elevaciones

Elev. PIV= 1,084.78

$$Elev.PCV = Elev.PIV - Pi * \frac{L}{2}$$

$$Elev.PCV = 1,084.78 - (-0.033596) * \frac{30}{2}$$

$$Elev.PCV = 1085.29$$

$$Elev.PTV = Elev.PIV + Ps * \frac{L}{2}$$

$$Elev.PTV = 1075.5869 + (-0.01761) * \frac{30}{2}$$

$$Elev.PTV = 1084.52$$

6. Cálculo de las ordenadas

Externa:

$$E = \frac{(P_s - P_i)}{2L} * Li * Ls$$

$$E = \frac{(-0.03359 - (-0.01761))}{2(30)} * 15 * 15$$

$$E = 0.058m$$

CONCLUSIONES.

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

- En el **Estudio de topográfico**: Según los datos de puntos suministrados, correspondientes a las coordenadas y la elevación de los mismos, al momento de procesarlo, los resultados topográfico-obtenidos del tramo es un terreno plano ya que las pendientes resultantes máximas obtenidas son menores a 5%.
- **Estudio de tránsito**, se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 7 días consecutivos (1 semana), del cual se obtuvo un TPDA de **653** vehículo/día. De los cuales se obtuvo una composición vehicular de **85.6%** de Vehículos de pasajeros y **14.4%** de Vehículos de carga. Para la proyección del tráfico se utilizó una tasa de crecimiento del **4.92%**, obtenida mediante las correlaciones de las tasas de crecimiento históricas de la estación de mayor cobertura EMC 300.

De acuerdo a la clasificación y funcionalidad según su TPDA de las Normas Centroamericanas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004, el tramo en estudio es una vía Colectora Rural, por consiguiente, se eligió un periodo de diseño de 15 años que al proyectarlos el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de **898,673.00**

- **Estudio geotécnico** se determinó que los suelos predominantes en la línea son **A-2-4, A-2-6**, los cuales según la clasificación AASHTO son suelos de buenos a regulares para subrasante.

Se utilizó el banco de préstamos Banco (Roger Soza) y se propone que la estructura de pavimento esté compuesta por una capa de rodadura de adoquín y una capa base granular.

- **Diseño de pavimento**, se realizó para caminos de bajo costo y bajo volumen vehicular según las Especificaciones Generales para la

Construcción de Caminos, Calles y puentes (NIC 2000). A partir de un ESAL'S de **898,673.00** para un periodo de diseño de **15 años**, con un CBR de diseño de la sub rasante **8.8%**.

Los espesores resultantes son de **4.00 pulgadas** para la carpeta de rodamiento (adoquín), **2 pulgadas de colchón de arena** y **6 pulgadas** para la base granular. Obteniendo un total de **12 pulgadas de estructura de pavimento articulado**.

- **Diseño Geométrico Vial** se tomaron en cuentas las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que rigen para los alineamientos tanto horizontal como vertical propuestas por la SIECA y AASHTO, puesto que nos proporcionan parámetros mínimos y máximos para tomarlos como puntos de partida para tales diseños y cálculos. Dichos cálculos nos generaron de acuerdo con el eje propuesto 3 curvas horizontales con deflexión máxima (**26° 12' 34"**) y mínima (**0° 20' 45"**), no obstante, si los ángulos de deflexión de los alineamientos horizontales fuesen menor a 2°15' para una velocidad de diseño de 60 kph no es necesario diseñar la curva horizontal y para las curvas verticales si la diferencia algebraica de la pendiente de entrada (P1) y la de salida (P2) fuese menor a 0.5% no es necesario diseñar y calcular dicha curva, basado en lo anterior respecto al alineamiento vertical se generaron dos curvas verticales en columpio.

RECOMENDACIONES.

- ⦿ Realizar aforos de manera continua en la estación de corta duración correspondiente al tramo en estudio, para tener una mayor comprensión sobre el comportamiento vehicular y su crecimiento a lo largo del periodo de diseño.
- ⦿ Colocar los espesores de pavimentos indicados, los que se determinaron en función que hará uso de la vía y de acuerdo a los tipos de suelos encontrados a lo largo del camino investigado.
- ⦿ Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar el material del banco de préstamo.
- ⦿ Mantener la línea de la subrasante al nivel propuesto para que este tenga un nivel adecuado con respecto a los terrenos adyacentes, además, así se evitan los cambios en las pendientes, los cuales afecta directamente el diseño del drenaje longitudinal (cuneta).
- ⦿ Para colocar la estructura del pavimento deberá retirarse todo el material existente hasta la profundidad de 25cm indicada en los planes del perfil longitudinal y reponerlo con el material selecto recomendado, este se debe compactar al 100% de su densidad seca máxima, luego colocar el espesor indicado.
- ⦿ Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme Su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa, no deberá ser menor de 3 cm, ni mayor de 5 centímetros.

- ⦿ Verificar que la calidad de los materiales es la determinada en el diseño, que cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia propuestas en las Normas Nic- 2000.
- ⦿ Darle mantenimiento periódico de manera preventiva a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
- ⦿ Al momento durante el replanteo del eje de trazo del camino se deberá tener sumo cuidado tanto a nivel horizontal y vertical, se deberá cumplir con lo establecido en el Manual de Revisión de Estudios Topográficos (MTI)
- ⦿ Se recomienda colocar las señales de tránsito necesarias para dicho camino además de alguna otra que indique la especialidad de tránsito con el fin de eliminar al máximo cualquier riesgo de accidente.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (3ra edicion). San Juan: instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

Ayllón Acosta, J. (2004). Guia de pavimentos de concreto Asfaltico. Cochabamba Bolivia: Cochabamba.

Fonseca, A. M. (2011). Ingenieria de Pavimentos para Carreteras 2da.

Hernandez, M. I. (2011). Ingenieria de Trafico. Esteli: Universidad Nacional de Ingeniria (UNI-RUACS).

Navarro, H. Sergio. (2014). Diseño Geométrico y Cálculo de Viales. Estelí, Nicaragua

Jhon Jairo Agudelo Ospina. (Colombia 2002). Diseño de Vías, (septiembre de 2014).

MTI. (2008). Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos.

MTI. (2008). Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de drenaje menor.

MTI. (2016). Anuario de Aforos de Tráfico . Managua.

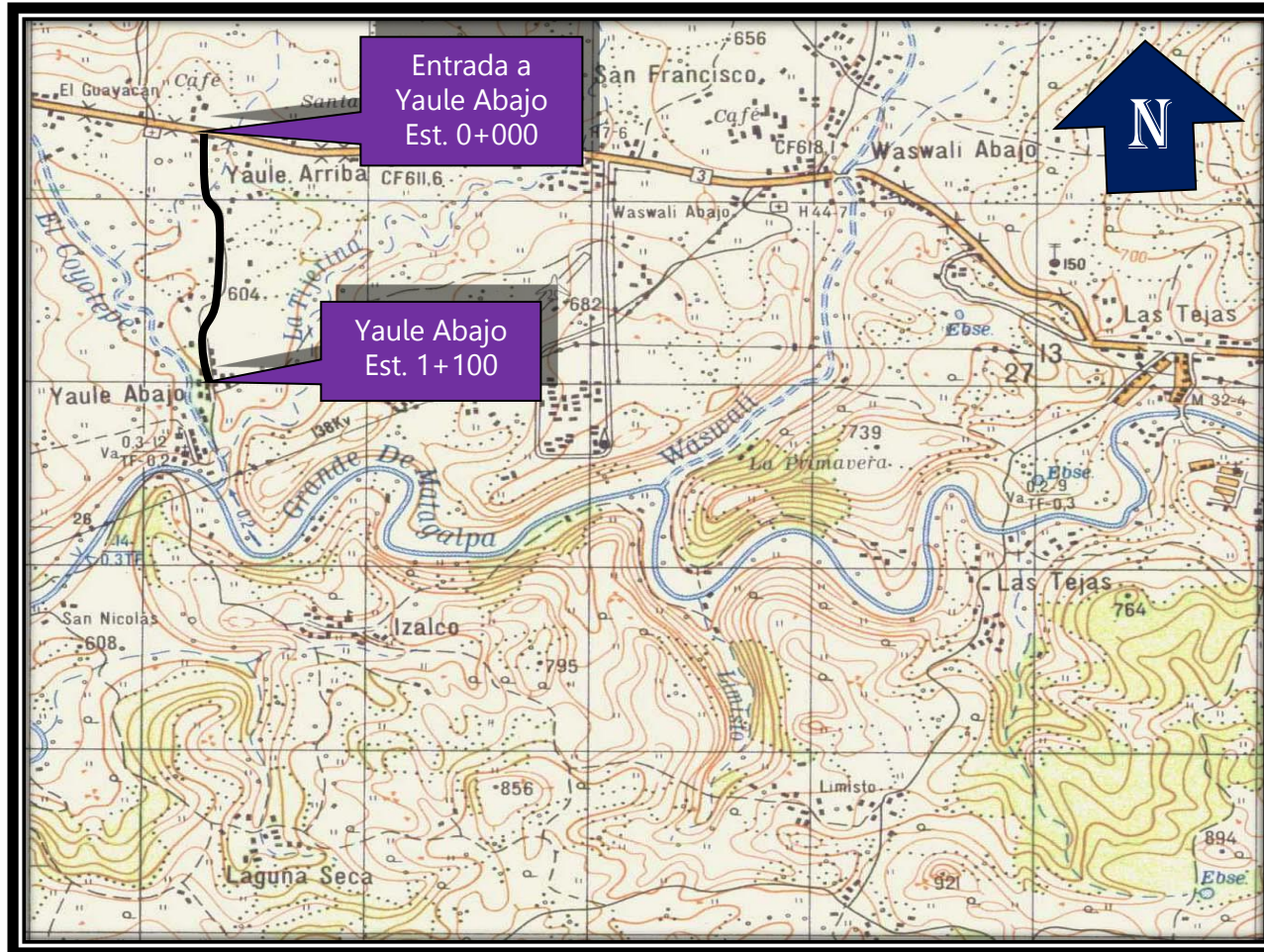
NIC. (2000). Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes.

SIECA. (2004). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

Villalaz, C. (1976-1980). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey - México: Limusa Noriega Editores

ANEXOS

Imagen 15. Micro localización



Fuente: Alcaldía de Matagalpa

Fotos de la Situación actual del tramo.

Inicio del Tramo en Estudio.



Fuente: Elaboración propia

Inundado por falta de drenaje Est 0+160



Fuente: Elaboración propia

Parada de buses urbanos Est. 0+990



Fuente: *Elaboración propia*

Fin del tramo a empalmar adoquinado existente, Est 1+100.



Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 45. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

CONTEO VEHICULAR DEL LUNES (AMBOS SENTIDOS)																			
PERIODO DE AFORO		Vehiculos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehiculos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07:00	08:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08:00	09:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09:00	10:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:00	11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:00	12:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:00	13:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00	14:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:00	15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15:00	16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:00	17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17:00	18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

PROYECTO DE ADOQUINADO : YAULE ABAJO HACIA YAULE																			
FECHA DE CONTEO: LUNES 15 DE OCTUBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	28	16	3	16	2	1	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	75
07:00	08:00	26	11	4	14	1	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	63
08:00	09:00	19	7	2	9	0	0	1	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	46
09:00	10:00	9	8	1	11	1	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	37
10:00	11:00	11	6	0	12	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34
11:00	12:00	15	8	5	4	0	1	1	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	44
12:00	13:00	15	12	3	6	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	44
13:00	14:00	6	2	1	2	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
14:00	15:00	8	4	2	1	0	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	20
15:00	16:00	7	7	0	8	1	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	31
16:00	17:00	4	8	3	4	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
17:00	18:00	16	9	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
TOTAL		164	98	25	88	7	6	23	32	20	1	0	0	0	0	0	0	0	464

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

HORA		FECHA DE CONTEO: MARTES 16 DE SEPTIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. 0+000																	
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	23	19	3	17	1	2	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	73	
07:00	08:00	26	23	4	13	0	1	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	75	
08:00	09:00	13	14	2	8	2	0	2	3	4	2	0	0	0	0	0	0	50	
09:00	10:00	9	5	1	9	1	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	32	
10:00	11:00	7	7	6	5	2	0	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	34	
11:00	12:00	16	3	7	7	3	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	42	
12:00	13:00	23	18	4	3	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	53	
13:00	14:00	12	11	6	1	2	1	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	40	
14:00	15:00	6	2	2	2	0	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
15:00	16:00	4	1	3	1	1	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	14	
16:00	17:00	9	4	2	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	21	
17:00	18:00	16	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	
TOTAL		164	116	40	66	12	8	24	28	12	10	0	0	0	0	0	0	480	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

HORA		FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 17 DE OCTUBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. EST. 0+000																	
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	19	5	0	15	1	2	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	51	
07:00	08:00	26	4	0	17	1	1	2	6	3	1	0	0	0	0	0	0	61	
08:00	09:00	17	2	1	13	2	0	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	42	
09:00	10:00	7	1	3	6	0	0	3	4	2	3	0	0	0	0	0	0	29	
10:00	11:00	13	0	4	7	0	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	32	
11:00	12:00	21	6	1	3	3	1	2	4	1	1	0	0	0	0	0	0	43	
12:00	13:00	18	8	1	1	0	1	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	35	
13:00	14:00	19	4	0	4	1	0	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	36	
14:00	15:00	7	12	3	6	0	1	3	2	1	2	0	0	0	0	0	0	37	
15:00	16:00	8	9	7	8	1	2	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	42	
16:00	17:00	18	13	1	11	0	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	47	
17:00	18:00	16	11	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	
TOTAL		189	75	23	93	9	8	28	31	21	10	0	0	0	0	0	0	487	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: JUEVES 18 DE FEBRERO 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. EST. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	23	13	2	6	0	2	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	55
07:00	08:00	19	18	1	13	1	0	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	58
08:00	09:00	17	6	0	7	0	1	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	40
09:00	10:00	3	12	2	8	1	0	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	34
10:00	11:00	7	3	1	1	0	1	3	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	23
11:00	12:00	17	11	3	9	0	0	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	49
12:00	13:00	23	18	1	3	2	1	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	55
13:00	14:00	11	9	0	1	0	1	3	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	32
14:00	15:00	9	6	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	26
15:00	16:00	14	3	1	12	1	1	3	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	41
16:00	17:00	8	6	1	4	1	0	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	27
17:00	18:00	19	16	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
TOTAL		170	121	12	67	6	7	29	33	24	8	0	0	0	0	0	0	0	477

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: VIERNES 19 DE OCTUBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. EST. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	27	6	2	18	1	1	3	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	66
07:00	08:00	29	3	3	13	2	2	2	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	62
08:00	09:00	13	1	4	9	0	1	1	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	40
09:00	10:00	5	2	2	3	1	0	3	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	23
10:00	11:00	8	2	1	7	0	0	3	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	31
11:00	12:00	16	8	3	3	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	37
12:00	13:00	24	13	2	6	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
13:00	14:00	17	3	3	2	1	1	3	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	36
14:00	15:00	8	7	2	3	0	0	2	7	3	2	0	0	0	0	0	0	0	34
15:00	16:00	1	2	0	13	1	1	1	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	29
16:00	17:00	2	7	1	3	0	0	3	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0	26
17:00	18:00	18	12	2	0	0	0	1	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	41
TOTAL		168	66	25	80	8	8	27	45	36	15	0	0	0	0	0	0	0	478

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: SABADO 20 DE OCTUBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: YAULE ABAJO. EST. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	28	8	0	19	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61
07:00	08:00	31	12	1	13	1	2	3	6	3	2	0	0	0	0	0	0	0	74
08:00	09:00	17	13	2	7	0	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	46
09:00	10:00	7	6	0	11	0	0	2	3	5	3	0	0	0	0	0	0	0	37
10:00	11:00	3	8	1	4	0	2	2	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	26
11:00	12:00	11	15	2	12	1	0	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	48
12:00	13:00	19	16	0	8	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
13:00	14:00	9	9	0	2	0	1	3	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	31
14:00	15:00	7	14	1	3	0	1	2	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	40
15:00	16:00	13	13	0	1	1	2	2	1	6	2	0	0	0	0	0	0	0	41
16:00	17:00	21	16	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
17:00	18:00	28	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
TOTAL		194	148	9	80	3	9	24	35	23	13	0	0	0	0	0	0	0	538

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: DOMINGO 21 DE OCTUBRE 2018										SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS					UBICACIÓN: YAULE ABAJO. EST. 0+000				
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	8	1	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
07:00	08:00	12	2	2	3	0	2	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	29	
08:00	09:00	18	6	1	7	1	1	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	42	
09:00	10:00	17	4	0	12	0	0	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	39	
10:00	11:00	19	8	0	15	1	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	50	
11:00	12:00	21	12	4	3	0	1	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	50	
12:00	13:00	12	13	1	2	1	0	4	5	2	1	0	0	0	0	0	0	41	
13:00	14:00	23	17	2	1	0	1	3	8	1	0	0	0	0	0	0	0	56	
14:00	15:00	18	1	1	4	0	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0	31	
15:00	16:00	17	2	0	6	2	2	2	8	3	0	0	0	0	0	0	0	42	
16:00	17:00	15	13	0	2	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	35	
17:00	18:00	18	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
TOTAL		198	87	12	56	7	8	31	42	10	6	0	0	0	0	0	0	457	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Trafico.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadriciclos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4'4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con finas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
CARGA	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).







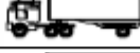

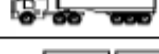



Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2014.Pag. 32.

Tabla 54. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.
(Vehículos Liviano y Pasajeros)

Tipo de Vehículo	Peso por eje (TON)	Peso por eje (LBS)
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-15-30	4/8	8800/17600
C-2 LIV	4/8	8800/17600
BUS=C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla 55. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.
(Vehículos Pesados)

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00	16.00				37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00	20.00				41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00	4.0 a	4.0 a			29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00	4.0 a	5.0 a	5.0 a		35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI).

Tabla 56. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje		SN		pulg	(mm)		
(kips)	(kN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2.2	2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4.4	4	17.8	.002	.003	.002	.002	.002
8.8	6	26.7	.009	.012	.011	.010	.009
11	8	35.6	.030	.035	.036	.033	.029
	10	44.5	.075	.085	.090	.085	.076
	12	53.4	.165	.177	.189	.183	.168
	14	62.3	.325	.338	.354	.350	.331
	16	71.2	.589	.598	.613	.612	.596
17.6	18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.59
	22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.41
	24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.51
	26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.96
	28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.83
	30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	9.2
	32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	12.1
	34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	15.6
	36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.9
	38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	25.1
	40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	31.2
	42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	38.5
	44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	47.1
	46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	57.0
	48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	68.6
	50	222.5	113	108	97	86	82

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Los números en color Azul son valores a interpolar, en función a SN=5.

Tabla 57. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	pulg 3.0 (76.2)	(mm) 4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

El número en color rojo es el valor que interpolar, en función a SN=5

Tabla 58. Clasificación de suelos, según AASHTO.

CLASIFICACIÓN AASHTO PARA SUELOS Y MEZCLAS SUELO-AGREGADO.												
General Clasificación	Materiales Granulares (35% o menos pasa 0.075 mm)							Materiales Limo-arcillosos (mas del 35% pasa 0.075 mm)				
Grupo de Clasificación }	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Porcentaje que Pasa 2.00 mm 0.425 mm 0.075 mm	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 máx. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Fracción que pasa 0.425mm												
Limite Liquido -				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	41 min.
Índice Plástico -	6 máx.		N.P	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de los constituyentes significativos en los materiales.	Fragmentos de Piedra, grava y arena.		Arena Fina.	Grava con arena limosa o arcillosa.				Suelos limosos.		Suelos arcillosos.		
Uso general como sub-rasante.	Excelente a bueno.							Pobre a malo.				

Nota: A-7-5 = PL<30 y A-7-6 = PL >30.

EXPERIMENTAL SOIL MECHANICS, JEAN - PIERRE BARDET.

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO 93.

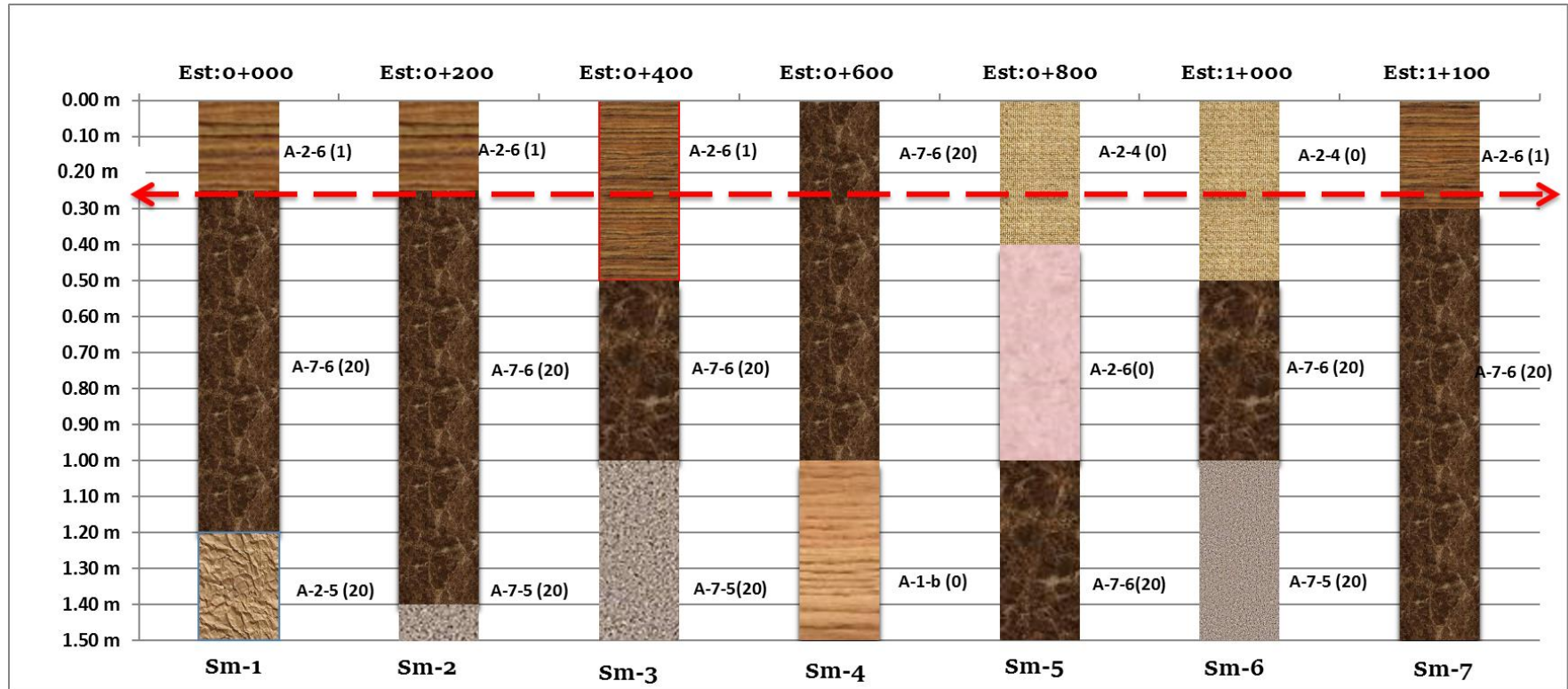
Tabla 59. Resultados ensayos de sondeos de línea.

ESTACION	SONDEO No.	MUESTRA No.	'PROF. CM	% QUE PASA POR EL TAMIZ												L.L	L.P	I.P	CLASIFICACION	CBR
				3 "	2 1/2 "	2 "	1 1/2 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	%	%	%	H.R. B	95
00+000.00	SL-1	1	0 - 25	100	100	100	94	90	83	75	68	58	53	43	25	39	21	18	A-2-6 (1)	7
		2	25 - 120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6 (20)	9
		3	120-150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	89	70	81	42	39	A-7-5(20)	2
00+200.00	SL-2	1	0 - 25	100	100	100	88	81	76	71	63	49	43	36	27	36	23	13	A-2-6(1)	7
		2	25 - 140	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6(20)	9
		3	140 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	96	91	80	34	46	A-7-5(20)	2
00+400.00	SL-3	1	0 - 50	100	100	100	93	87	80	74	68	56	46	27	13	39	22	17	A-2-6 (1)	7
		2	50 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6(20)	9
		3	100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	88	78	80	36	44	A-7-5(20)	2
00+600.00	SL-4	1	0 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	86	71	45	10	35	A-7-6(20)	9
		2	100-150	100	100	100	100	100	100	100	95	86	74	37	15	N.P.	N.P.		A-1-b (0)	25
00+800.00	SL-5	1	0 - 40	100	100	100	100	100	94	86	75	58	51	35	26	33	9	24	A-2-4 (0)	21
		2	40 - 100	100	100	100	93	82	73	67	60	50	42	29	24	37	11	26	A-2-6 (0)	7
		3	100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6(20)	9
01+000.00	SL-6	1	0 - 50	100	100	100	100	94	91	84	71	52	45	33	23	31	9	22	A-2-4 (0)	21
		2	50 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6(20)	9
		3	100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	88	78	80	36	44	A-7-5(20)	2
01+100.00	SL-7	1	0 - 30	100	100	100	93	86	81	75	68	56	49	33	19	29	5	24	A-2-6 (1)	7
		2	30 -150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	29	49	A-7-6(20)	9

Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

Nota: Las filas coloreadas en azul son los valores CBR para el CBR de diseño de subrasante

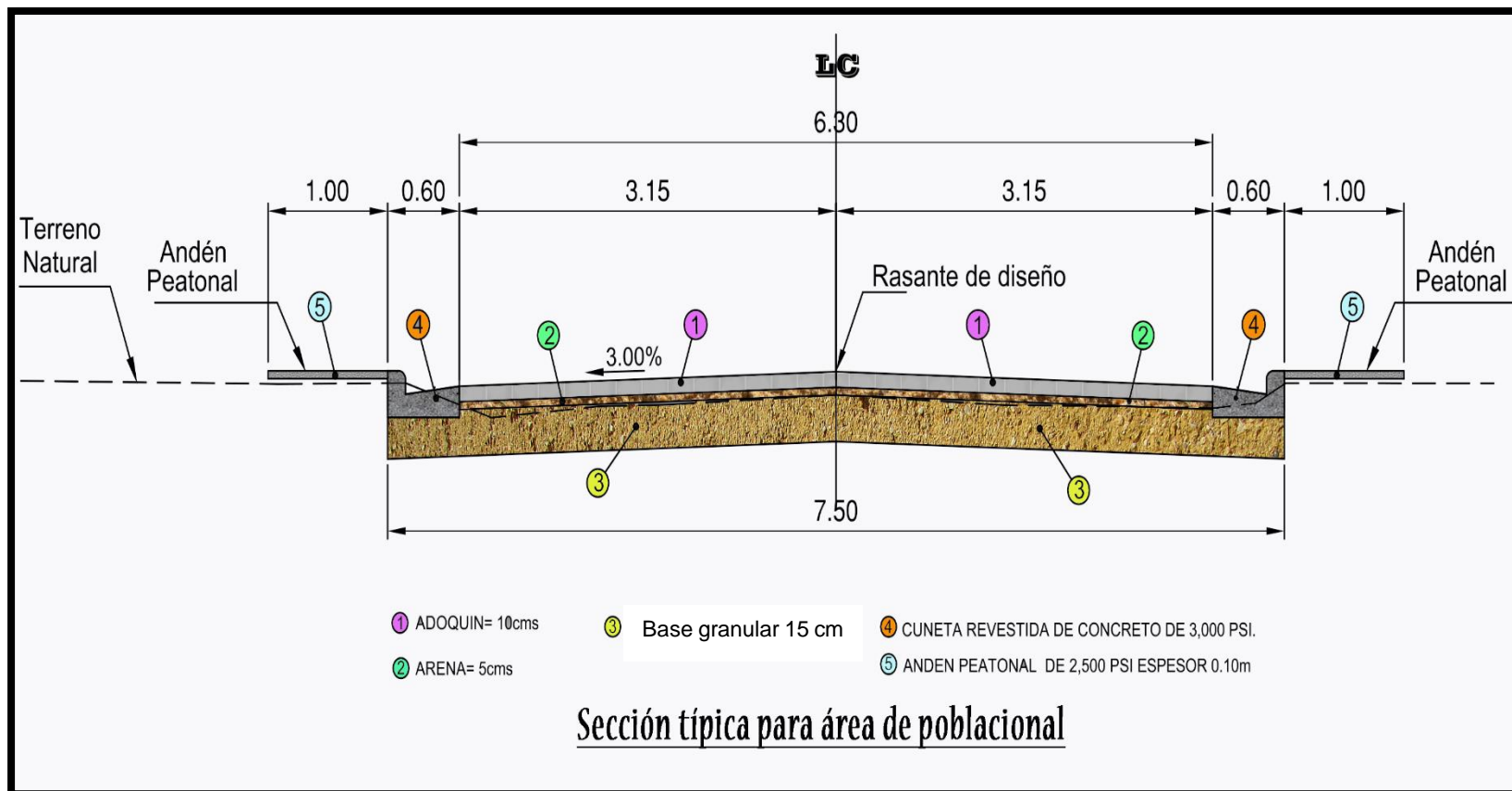
Gráfico 14. Estratigrafía del Terreno.



Fuente: Alcaldía Municipal de Matagalpa.

Nota: La línea roja discontinua refleja la sub – rasante sobre la que se construirá la estructura de pavimento 0.25 m.

Imagen 15. Sección transversal urbana.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama de la sección típica para zona rural, mostrando el perfil de la carretera con sus dimensiones y materiales.

EN CORTE **LC** **EN TERRAPLEN**

Dimensiones y detalles:

- Terreno Natural
- Cuneta (C) con pendiente 1:1
- Hombro: 3.00%
- Rasante de diseño
- Pendientes de 3.00%
- Base granular (3)
- Bordillo de concreto (4)
- Cuneta revestida de mampostería (5)

Legenda:

- ① ADOQUIN= 10cms
- ② ARENA= 5cms
- ③ Base granular 15 cm
- ④ BORDILLO DE CONCRETO DE 3,500PSI. = 30cms x 15cms
- ⑤ CUNETA REVESTIDA DE MAMPOSTERIA)

Sección típica para zona rural

pág. XVII

Tabla 60. Cuadro de curvas horizontales.

ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA	Azimuth
KM	TIPO				
0+000.00					
0+020.00			20.000		18° 20' 7.37"
0+040.00			20.000		18° 20' 7.37"
0+060.00			20.000		18° 20' 7.37"
0+080.00			20.000		18° 20' 7.37"
0+086.96	PC		6.959	$\Delta = 26^\circ 12' 34.74''$ izq	18° 20' 7.37"
0+100.00		357° 23' 30.53"	13.036	ST = 33.346	15° 43' 37.91"
0+120.00		353° 23' 30.53"	32.968	PI = 0+120.30	11° 43' 37.91"
0+140.00		349° 23' 30.53"	52.738	Gc = 8° 0' 0.00"	7° 43' 37.91"
0+152.48	PT	346° 53' 42.63"	64.954	Lc = 65.524	5° 13' 50.00"
				Rc = 143.239	
0+160.00			7.517		352° 7' 32.63"
0+180.00			20.000		352° 7' 32.63"
0+199.31	PI		19.314	$\Delta = 3^\circ 44' 59.97''$ izq	352° 7' 32.63"
0+200.00			0.686		355° 52' 32.60"
0+220.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+240.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+260.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+280.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+300.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+320.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+340.00			20.000		355° 52' 32.60"
0+347.13	PI		7.128	$\Delta = 0^\circ 43' 1.45''$ der	355° 52' 32.60"
0+360.00			12.872		355° 9' 31.15"
0+380.00			20.000		355° 9' 31.15"
0+400.00			20.000		355° 9' 31.15"
0+420.00			20.000		355° 9' 31.15"
0+440.00			20.000		355° 9' 31.15"
0+442.79	PI		2.789	$\Delta = 3^\circ 7' 38.96''$ izq	355° 9' 31.15"
0+460.00			17.211		358° 17' 10.12"
0+480.00			20.000		358° 17' 10.12"
0+488.98	PC		8.983	$\Delta = 23^\circ 34' 51.07''$ der	358° 17' 10.12"
0+500.00		1° 55' 40.43"	11.014	ST = 34.171	0° 12' 50.55"
0+520.00		5° 25' 40.43"	30.970	PI = 0+523.15	3° 42' 50.55"
0+540.00		8° 55' 40.43"	50.810	Gc = 7° 0' 0.00"	7° 12' 50.55"
0+556.36	PT	11° 47' 25.54"	66.899	Lc = 67.374	10° 4' 35.65"
				Rc = 163.702	

Tabla 61. Cuadro de curvas horizontales.

0+560.00			3.643		21° 52' 1.19"
0+580.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+600.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+620.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+640.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+660.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+680.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+700.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+720.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+740.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+760.00			20.000		21° 52' 1.19"
0+776.95	PI		16.946	$\Delta = 0^\circ 17' 25.45''$ der	21° 52' 1.19"
0+780.00			3.054		21° 34' 35.74"
0+800.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+820.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+840.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+860.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+880.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+900.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+920.00			20.000		21° 34' 35.74"
0+936.71	PC		16.713	$\Delta = 12^\circ 21' 57.04''$ der	21° 34' 35.74"
0+940.00		0° 24' 39.08"	3.287	ST = 24.828	21° 59' 14.82"
0+960.00		2° 54' 39.08"	23.277	PI = 0+961.54	24° 29' 14.82"
0+980.00		5° 24' 39.08"	43.223	Gc = 5° 0' 0.00"	26° 59' 14.82"
0+986.18	PT	6° 10' 58.52"	49.367	Lc = 49.463	27° 45' 34.26"
				Rc = 229.183	
1+000.00			13.823		33° 56' 32.78"
1+020.00			20.000		33° 56' 32.78"
1+032.34	PI		12.339	$\Delta = 15^\circ 34' 9.56''$ der	33° 56' 32.78"
1+040.00			7.661		18° 22' 23.22"
1+060.00			20.000		18° 22' 23.22"
1+080.00			20.000		18° 22' 23.22"
1+100.00			20.000		18° 22' 23.22"
1+110.58	PI		10.581	$\Delta = 9^\circ 21' 20.73''$ der	18° 22' 23.22"
1+120.00			9.419		9° 1' 2.49"
1+120.46			0.461		9° 1' 2.49"

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

Tabla 62. Cuadro de curvas verticales

Datos de curva (1)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-3.360	-1.761	0+391.998	1084.7833	30.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -1.598%				Tipo de curva: En columpio	

Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)
0	PCV	0+376.998	1085.287	1085.287
1		0+396.998	1084.695	1084.722
2	PTV	0+406.998	1084.519	1084.519

Datos de curva (2)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-1.761	0.261	0+852.758	1076.6675	30.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -2.023%				Tipo de curva: En columpio	

Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)
0	PCV	0+837.758	1076.932	1076.932
1		0+857.758	1076.681	1076.714
2	PTV	0+867.758	1076.707	1076.707

Curvas verticales

Vel. proyecto(km/h): 60

Tiempo de reacción(seg): 2.5

Parámetro K(m/%): 18

Parámetros de visibilidad

Altura del ojo(m): 1.14

Altura del objeto(m): 0.15

Altura de los faros(m): 0.61

Pendiente del haz luminoso(%): 0.0175

Parámetros de rebase

Altura del ojo(m): 1.14

Altura del objeto(m): 1.37

Reestablecer parámetros

Long. horizontal de curva(m): 30.00

Long. por parámetro K: 28.77

Aceptar

Cancelar

Ayuda...

Curvas verticales

Vel. proyecto(km/h): 60

Tiempo de reacción(seg): 2.5

Parámetro K(m/%): 18

Parámetros de visibilidad

Altura del ojo(m): 1.14

Altura del objeto(m): 0.15

Altura de los faros(m): 0.61

Pendiente del haz luminoso(%): 0.0175

Parámetros de rebase

Altura del ojo(m): 1.14

Altura del objeto(m): 1.37

Reestablecer parámetros

Long. horizontal de curva(m): 30.00

Long. por parámetro K: 36.41

Aceptar

Cancelar

Ayuda...

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

GLOSARIO.

Adoquines: Son elementos contruidos de material pétreo y cemento colocados sobre una capa de arena, su función primordial es absorber las irregularidades que pudiera tener la base proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado.

Adoquinado: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

Agregados: Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

Agregado grueso: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

Bache: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

Bombeo: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

Banco de Material: Lugar donde se extraerá material de préstamo para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer el tipo de suelos existentes en dicha zona, así como el volumen aproximado de material que pueda ser utilizable.

Base: Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Calicata: Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

Capa sub-rasante: Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Cama de Arena: Esta capa se construye de 5 centímetros, con arena suelta, gruesa y limpia la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ella.

Capacidad de carga última del terreno: Es la presión requerida para producir la falla del terreno, sin considerar factores de seguridad.

Carretera, Calle o Camino: Términos genéricos que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículos y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Carretera no pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

Carretera pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible), de concreto Pórtland (rígida) o de adoquín (articulado).

Carpeta: Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente que resista los efectos abrasivos del tránsito, desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento es el elemento más importante.

CBR. (Relación de Carga California): Relación entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesaria para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón.

Cota de rasante: Valor numérico de un punto topográfico que representa el nivel terminado o rasante referido a un BENCH MARK (BM).

Cota de terreno: Valor numérico de un punto topográfico del terreno referido a un BENCH MARK (BM).

Cuneta: Canalillo lateral paralelo al eje de una carretera, camino o calle construida inmediatamente después del borde de los hombros, que permite el escurrimiento del agua, y a la vez, sirve de barrera entre la calzada y la acera.

Elementos viales: Conjunto de componentes físicos de la vía, tales como superficie de rodadura, bermas, cunetas, obras de drenaje, elementos de seguridad vial.

Estación: Lugar o punto específico donde se realizan conteos, para conocer las características del tráfico, la que será útil para el desarrollo de carreteras.

Estación de control: Tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales; se realizan en caminos de adoquinado y asfalto, en tramos donde el tráfico es menor que una estación permanente. Sin embargo, su principal función es de llevar un control de las estaciones Permanentes y en donde se les efectúan conteos una vez al año a diferencia que las estaciones sumarias.

Estación permanente: Se encuentran ubicadas sobre la Red Troncal Principal, destacándose la zona Central y Pacífica del país, efectuándose conteos clasificados de 24 horas por día durante dos periodos en el año (Verano-Invierno), con duración de 7 días consecutivos en cada período.

Estación sumaria: Se caracterizan por estar en caminos que no han sido pavimentados, con un flujo vehicular moderado.

En este tipo de estación se realiza como mínimo un aforo anual durante 12 horas diarias (de 6 am a 6 pm) en períodos de tres (Martes – Miércoles – Jueves) generalmente en todo el transcurso del año se efectúan en épocas de Verano y/o Invierno.

Estudio de impacto ambiental: Son herramientas para predecir y su objetivo es buscar las relaciones de causalidad entre una actividad de desarrollo y el medio ambiente, medir o estimar los impactos ambientales y sociales que esto significa, y finalmente sugerir medidas para potenciar los efectos positivos y mitigar o eliminar los negativos.

Intersección: Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

Índice de plasticidad: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

Levantamiento topográfico: Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.

Límite líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

Módulo resiliente (suelos): Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

Niveles de servicio: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad.

Pavimento: Es una capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidos entre la subrasante y la superficie de rodamiento o rasante.

Pavimento articulado: Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual a su vez se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

Pendiente de la carretera: Inclinação del eje de la carretera, en el sentido de avance.

Proyecto: La sección específica de la carretera, camino, calle o puente, junto con todas las obras que serán construidas.

Sección transversal: Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

Sub- base: Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, también actúa como drenaje para desalojar el agua que se infiltra al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base.

Sub- rasante: Es el nivel del terreno sobre el cual se asientan las capas de sub-base, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

Suelo: Es un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen.

Terraplén: Es aquella parte de la estructura de una obra vial construida con material producto de un corte o un préstamo, la cual queda comprendida entre el terreno de fundación y el pavimento.

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras

Vida útil: Lapso previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

PLANOS DEL PROYECTO